

Valtakunnallisen korkeusmallin uudistamistarpeet ja -vaihtoehdot

Työryhmämuistio, Helsinki 2006

Valtakunnallisen korkeusmallin uudistamistarpeet ja -vaihtoehdot

Työryhmämuistio, Helsinki 2006

Maa- ja metsätalousministeriölle

Maa- ja metsätalousministeriö asetti 9.6.2005 korkeusmallityöryhmän, jonka tehtävänä oli arvioida valtakunnallisen korkeusmallin uudistamistarpeet ja -vaihtoehdot, tehdä tarvittaessa ehdotuksia uusista menettelytavoista ja arvioida uusien menetelmien kustannukset sekä selvittää ja esittää menettelytavat, joilla korkeus- ja syvyystietojen yhteensopivuudesta huolehditaan.

Selvityksen yhteydessä oli lisäksi otettava huomioon, että valtakunnallisen korkeusjärjestelmän uudistaminen oli käynnissä ja että valtakunnallinen korkeusmalli on osa valtakunnallista maastotietojärjestelmää. Lisäksi selvitys oli rajattu koskemaan pelkästään maa-alueiden korkeustietoja ja vesistöjen pinnankorkeustietoja, koska korkeus- ja syvyystietojen tuotantomenetelmät ovat selkeästi erilaisia.

Työryhmän tuli saada työnsä valmiiksi 1.3.2006 mennessä.

Työryhmän puheenjohtajana toimi ylitarkastaja Antti Vertanen maa- ja metsätalousministeriöstä ja varapuheenjohtaja maanmittausneuvos Arvo Kokkonen maa- ja metsätalousministeriöstä (25.11.2005 alkaen maanmittausneuvos Pekka Halme). Työryhmän jäseniä olivat maanmittausinsinööri Antti Saarikoski Maanmittauslaitoksesta (varajäsen Mervi Saario), osastonjohtaja Juha Hyypä Geodeettisesta laitoksesta (varajäsen Tapani Sarjakoski), geologi Jaana Jarva Geologian tutkimuskeskuksesta (varajäsen Olli Rantala), professori Erkki Tomppo Metsäntutkimuslaitoksesta (varajäsen Matti Katila), professori Martin Vermeer Teknillisestä korkeakoulusta (varajäsen Ulla Pyysalo), vanhempi suunnittelija Matti Joukola Suomen ympäristökeskuksesta, tiiminvetäjä Risto Rasimus Tiehallinnosta, insinöörieverstiluutnantti Henry Kvarnström Topografikunnasta (varajäsen Janne Filpus), toimistopäällikkö Matti Tujunen Helsingin kaupungista (varajäsen Matti Arponen) ja yksikön päällikkö Rainer Mustaniemi Merenkulkulaitoksesta.

Työryhmän sihteerinä toimi johtaja Juha Vilhomaa Maanmittauslaitoksesta (varajäsenenään Risto Ilves).

Saatuaan työnsä valmiiksi, työryhmä luovuttaa kunnioittavasti muistionsa maa- ja metsätalousministeriölle.

Helsingissä 22. päivänä maaliskuuta 2006.

Antti Vertanen

Antti Saarikoski

Juha Hyyppä

Jaana Jarva

Erkki Tomppo

Martin Vermeer

Matti Joukola

Risto Rasimus

Henry Kvarnström

Matti Tujunen

Rainer Mustaniemi

Juha Vilhomaa

Tiivistelmä korkeusmallityöryhmän ehdotuksista

Työryhmä ehdottaa menettelytapaa, jossa nykyistä Maanmittauslaitoksen tuottamaa MML10-mallia tarkennettaisiin yhteistyössä laaditun suunnitelman pohjalta vaiheittain uusia valtakunnallisia vaatimuksia vastaavaksi. Uuden valtakunnallisen korkeusmallin tekniset vaatimukset ja yksityiskohtaiset määrittelyt valmisteltaisiin yhteistyönä vuoden 2007 loppuun mennessä käynnissä olevien testitöiden valmistuttua. Lähtökohtana uusien määrittelyjen valmistelussa pidettäisiin mm. 5 m:n ruutukokoa ja 0.5 m:n korkeuskeskivirhettä yksiselitteisillä pinnoilla.

Uuden korkeusmallin tuottaminen aloitettaisiin vaiheittain alueellisten tarpeiden, tiedonhankintayhteistyön syntymisen ja nykyisen valtakunnallisen korkeusmallin ajantasaisuuden perusteella. Uuden mallin tuotanto kohdistettaisiin aluksi ensisijaisesti tulvariskialueille. Maanmittauslaitoksen MML10- mallin tuottaminen nykyisellä menetelmällä kohdennettaisiin siirtymävaiheessa alueille, joista uuden tarkemman mallin tuottaminen ei ole ensivaiheessa todennäköistä. Uusi malli olisi saatavissa pääosasta tiheään rakennettuja ja tulvavaara-alueita vuoteen 2013 mennessä ja lähes koko maasta vuoteen 2020 mennessä.

Uuden korkeusmallin ajantasaistustavoitteet määriteltäisiin alueittain, tulvariskialueilla tavoitteena olisi 6 vuoden ajantasaistuväli. Ranta-alueiden syvyystietojen (alle 5-10 m) keräämismenetelmiä kehitettäisiin yhteistyössä pyrkien varmistamaan korkeus ja syvyystietojen yhteensopivuus myös tulevaisuudessa.

Uusi malli olisi rakenteeltaan hybridimalli, joka tuotetaan uusia tiedonhankintamenetelmiä käyttämällä ja eri lähteistä saatavan täydentävän hajapisteistön tai taitelinoja kuvaavien pisteaineistojen avulla. Uusista tiedonhankintamenetelmistä potentiaalisimpana pidettiin laserkeilausta.

Alueelliset ympäristökeskukset, kunnat, tiehallinto, Maanmittauslaitos ja tarvittaessa muut toimijat veloitettaisiin kehittämään alueellista yhteistyötä ja luomaan pelisäännöt paikallisten yhteistyöhankkeiden toteuttamiselle. Tarkkojen paikallisten, lähinnä rakentamiseen ja sen ohjaukseen liittyvien korkeustietojen tuotannon ja yhteistyön kehittämisen päävastuu olisi nykykäytännön mukaisesti kunnilla ja Suomen Kuntaliitolla. Valtakunnallisen ja alueellisen korkeustietotuotannon ja yhteistoiminnan käytännön ohjaus ja koordinaatio keskitettäisiin Maanmittauslaitokseen. Yhteistyötä paikallisten ja alueellisten tiedonkeruuhankkeiden toteuttamisessa ja valtakunnallisten korkeusmallien tuottamisessa edistettäisiin laajapohjaisen koordinaatioryhmän avulla.

Uusien tiedonhankintamenetelmien soveltamisesta ja uusien valtakunnallisten mallien tuottamisesta aiheutuvat kustannukset (arviolta 1,5-2 miljoonaa €/vuosi) katettaisiin pääosin suuntaamalla nykyisiä korkeusmallin tuottamiseen käytettäviä, tulvakarttojen valmistukseen suunniteltuja ja muita mahdollisia voimavaroja yhteishankkeisiin. Työryhmä katsoo, että uusien menetelmien soveltamisesta johtuen korkeusmalliaineiston tuottamisessa on kuitenkin syytä varautua myös lisärahoitustarpeisiin. Erityisesti lähivuosiin painottuvien tietotarpeiden tyydyttäminen edellyttää lisävoimavarojen suuntaamista korkeustietojen tuottamiseen tavoiteltavasta volyymistä riippuen arviolta 0,3 - 1,0 miljoonaa euroa vuodessa.

Uusien menettelytapojen käyttöönotto edellyttäisi lisäksi kehittämisinvestointeja ja yhteistoiminnan koordinaation käytettävien resurssien vahvistamista. Kehittämisinvestointien kustannukset olisivat arviolta yhteensä noin 100 000 euroa. Koordinaation vahvistaminen edellyttäisi arviolta noin yhden henkilötyövuoden (1 htv) panostusta ainakin vuoteen 2010 saakka.

Työryhmä katsoo, että merkittävimmät hyödyt syntyvät pääasiassa välillisesti laadukkaampien korkeustietoaineistojen käytön kautta. Tarkemmat aineistot luovat edellytykset paremmalle suunnittelulle ja varautumiselle kriisitilanteita, kuten tulvia, varten. Näiden hyötyjen täsmällinen arviointi on vaikeata, mutta pitkällä tähtäyksellä arvioidaan saavutettavan moninkertainen hyötyjen ja kustannusten suhde. Konkreettisesti säästöjä on saavutettavissa vähennettäessä päällekkäistä toimintaa organisaatioiden välillä esimerkiksi EU-lainsäädännön edellyttämien tietoaineistojen tuottamisessa.

Yhteistyön kehittämisen avulla esimerkiksi vesipuitedirektiivin ja käsittelyssä olevan tulvadirektiivin kustannusvaikutuksia voidaan alentaa merkittävästi. Samalla luodaan hyvät edellytykset paikkatietojen käyttöä ja saatavuutta edistävän ns. INSPIRE-direktiivin käyttöönotolle ja yritysten kaupallisen palvelutarjonnan kehittymiselle.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Työryhmän tehtävä	1
1.3	Työryhmän työskentelytapa	2
2	Valtakunnallinen korkeusmalli.....	3
2.1	Teoreettinen perusta	3
2.1.1	Korkeuksien fysikaalinen luonne	3
2.1.2	Tarkkuus ja mittaushierarkia	4
2.1.3	Korkeusmalli ja geoidi	5
2.2	Korkeusmallien esitystavat	6
2.3	Nykyiset korkeusmallit	8
2.3.1	25 metrin ruutukoko	8
2.3.2	10 metrin ruutukoko	8
2.3.3	Muut korkeusmallit	9
2.4	Nykyinen syvyysmalli	9
2.4.1	Ympäristöhallinnon syvyyskartoitukset ja -aineistot	9
2.4.2	Merenkululaitoksen syvyysmittaukset	10
3	Korkeusmallin käyttö ja malliin kohdistuvat tarpeet	11
3.1	Yleistä	11
3.2	Geologian tutkimuskeskus	11
3.3	Metsäkeskukset	13
3.4	Metsäntutkimuslaitos	15
3.5	Maataloushallinto	16
3.6	Tiehallinto.....	17
3.7	Puolustusvoimat.....	19
3.8	Suomen ympäristökeskus ja alueelliset ympäristökeskukset	20
3.9	Helsingin kaupunki (kuntasektori)	25
3.10	Merenkululaitos	26
3.11	Radio- ja puhelinverkkojen suunnittelu.....	26
3.12	Tulevaisuuden mahdollisuudet.....	26
3.12.1	Tulvavaarakartoitus	26
3.12.2	Uuden valtakunnallisen valuma-aluejaon laatiminen	26
3.12.3	Metsien muutostulkinta laserkeilauksessa.....	27
3.12.4	Muita mahdollisuuksia	27
4	Valtakunnallisen korkeusmallin tuotantotekniikat.....	28
4.1	Fotogrammetrinen menetelmä	28
4.1.1	Tekninen kuvaus.....	28
4.1.2	Referenssejä.....	29
4.1.3	Laatu	29
4.1.4	Kustannukset	30
4.2	Laserkeilaus	30
4.2.1	Tekninen kuvaus.....	30
4.2.2	Referenssejä.....	31
4.2.3	Laatu	32
4.2.4	Kustannukset	35
4.2.5	Päätelmiä laserkeilauksesta	35
4.3	SAR –interferometria	35
4.4	Olemassa olevat paikkatietoaineistot.....	36
4.5	Referenssejä valtakunnallisista korkeusmalleista	39
5	Yhteenveto odotuksista ja rajoituksista	40
5.1	Käyttäjien odotukset valtakunnalliselle korkeusmallille	40
5.2	Käyttäjien odotukset tuotantomenetelmälle	43
5.3	Yritysten odotukset	43
5.4	Havaittuja rajoituksia	43

6	Vaihtoehtoiset menettelytavat valtakunnallisen korkeusmalliaineiston tuottamiseksi ja ylläpitämiseksi	44
6.1	Jatketaan nykyisen käytännön mukaisesti	44
6.2	Käynnistetään valtakunnallinen laserkeilausohjelma	45
6.3	Kehitetään nykyistä valtakunnallisen korkeusmallin tuotantomenetelmää ja yhteistyötä korkeustietojen hankinnassa	45
6.4	Vaihtoehtoisten menettelytapojen vertailu	46
7	Työryhmän suosittelema menettelytapa	48
7.1	Yhteiset suositukset ja standardit	49
7.2	Sopimukset, koordinaatio ja rahoitus	49
7.3	Viranomaisten yhteiset tiedonkeruuhankkeet, tietojen hallinnan ja yhteiskäytön kehittäminen	50
7.4	Metatietopalvelun kehittäminen	50
7.5	Valtakunnallisten korkeusmallien tuottaminen ja ylläpito	51
7.6	Alueellisten ja paikallisten mallien tuottaminen ja ylläpito	51
7.7	Yhteistoiminta yritysten kanssa	52
7.8	Tietopalveluiden kehittäminen	53
7.9	Yleisen tiedottamisen kehittäminen	53
8	Työryhmän suositukset jatkotoimenpiteiksi	53
8.1	Yhteiset suositukset ja standardit	54
8.2	Sopimukset, koordinaatio ja rahoitus	54
8.3	Viranomaisten yhteiset tiedonkeruuhankkeet, tietojen hallinnan ja yhteiskäytön kehittäminen	55
8.4	Metatietopalvelun kehittäminen	55
8.5	Valtakunnallisten korkeusmallien tuottaminen ja ylläpito	56
8.6	Alueellisten ja paikallisten korkeusmallien tuottaminen ja ylläpito	56
8.7	Yhteistoiminta yritysten kanssa	57
8.8	Tietopalveluiden kehittäminen	57
8.9	Muut suositukset ja jatkotoimenpiteet	57
9	Ehdotuksen vaikutukset	58
9.1	Taloudelliset vaikutukset	58
9.2	Toiminnalliset vaikutukset	59
9.3	Muut vaikutukset	60
10	Viitteet	61
11	Liitteet	64
	Liite 2. Merenkululaitoksen merenmittausaineistot	65
	Liite 3. Merkittävimmät tulvavahinkokohteet alueellisten ympäristökeskusten alueilla	66
	Liite 4. Sanasto	69
	Liite 5. Suomalaisia vertaisarvioituja laserkeilausartikkeleita	70
	Liite 6. Kooste yrityksille suunnatun kyselyn vastauksista	73

1 Johdanto

1.1 Tausta

Maaston korkeustietojen ja vesistöjen syvyystietojen merkitys on korostunut erilaisten tietokonepohjaisten suunnittelu- ja visualisointijärjestelmien kehittyessä. Korkeus- ja syvyystietojen tärkeys on havaittu myös arvioitaessa, mallinnettaessa ja havainnollistettaessa erilaisia ympäristöön liittyviä prosesseja ja toimintojen vaikutuksia, kuten tulvia, säätiloja ja maisemaa. Korkeustietoja käytetään myös aikaisempaa enemmän yhdessä muiden tietolähteiden, kuten erilaisten paikkatietojen ja kuva-aineistojen kanssa, mikä asettaa korkeustiedoille uusia yhteensopivuus- ja laatuvaatimuksia.

Tulevaisuudessa riittävän tarkan ja luotettavan korkeusmallin merkitys on korostumassa. Käytökelpoisen korkeusmallin avulla voitaisiin helpottaa mm. Suomen varautumista ilmastomuutokseen ja sen seurauksiin, jotka näkyvät jo luonnossa. Pohjois-Suomessa viime kevään Kittilän ja Ivalon tulvan kaltaisten kevättulvien arvioidaan lisääntyvän. Tulvista ja myrskyistä aiheutuvat kustannukset ovat kasvaneet selvästi viime vuosina. Vuosina 1974-1998 keskimääräinen tulvakustannus oli miljoona euroa (Suomen ympäristökeskuksen koordinoima FINADAP-t-hanke). Viime aikojen suurimmat vahingot tulivat kesätulvista 2004, jolloin vahinkojen suuruus oli yli 7 M€ (lähde: MMM).

Maaston korkeussuhteita on perinteisesti kuvattu kartoilla korkeuskäyrien avulla. Vastaavasti syvyys-suhteita on kuvattu syvyyskäyrien avulla. Kartoilla korkeus- ja syvyyskäyrien kulku on sovitettu sovellettavan korkeusjärjestelmän mukaisesti määrävälein (käyrävälein) tasakorkeuksille. Vesistöjen pinnankorkeudet (keskivedet tai kartoitushetken mukaiset pinnankorkeudet) ja rantaviivat muodostavat systemaattisesti sijoitettuja korkeus- ja syvyyskäyriä täydentävän korkeustiedon.

Käyrät eivät ole kaikkien käyttötapojen kannalta optimaalinen tapa esittää ja käsitellä korkeustietoja, mistä syystä korkeus- ja syvyystietoja on alettu keräämään, tallentamaan ja esittämään myös muilla tavoilla. Digitaaliseen muotoon muunnettujen käyrien, korkeuspisteiden, rantaviivojen ja muiden korkeustiedon sisältävien paikkatietojen avulla on mm. muodostettu korkeusmalleja, joissa interpoloitu korkeustieto on esitetty systemaattisesti ruuduittain esimerkiksi 10 tai 25 metrin välein. Näiden mallien tarkkuus riippuu lähdeaineistoina käytettyjen korkeustietojen ja käyrien tarkkuudesta, maantieteellisestä tiheydestä ja laskentamenetelmästä.

Korkeusmalleja voidaan nykyisin tuottaa myös suoraan analysoimalla ilma- ja satelliittikuvia tai käyttämällä uusia maaston muotoja (etäisyyksiä) mittaavia havaintolaitteita. Näillä menetelmillä voidaan tuottaa tarpeen mukaan erilaisia kolmiulotteisia malleja maastosta ja maastokohteista. Myös syvyystietojen mittauksessa kaikuluotaukseen ja satelliittipaikannukseen perustuvat uudet menetelmät ovat kehittyneet voimakkaasti.

Suomessa korkeustiedot ovat maannousun takia hitaasti muuttuvia, mikä osaltaan vaikuttaa korkeustietojen uudistamistarpeeseen pitkällä tähtäimellä. Lisäksi ihmisen toimenpiteet aiheuttavat korkeustietoihin muutoksia lyhyelläkin aikavälillä erityisesti siellä missä rakentaminen ja maankäytön muutokset ovat vilkkaita.

1.2 Työryhmän tehtävä

Korkeustietoihin kohdistuvien tarpeiden sekä tietojen tuotanto- ja ylläpitomenetelmien kehittyessä on tullut ajankohtaiseksi arvioida valtakunnallisen korkeusmallin uudistamistarpeet ja -vaihtoehdot, tehdä tarvittaessa ehdotuksia uusista menettelytavoista ja arvioida uusien menetelmien kustannukset. Selvityksen yhteydessä on otettava huomioon, että valtakunnallinen korkeusjärjestelmä on tarkoitus uusien lähivuosien aikana ja että valtakunnallinen korkeusmalli on osa valtakunnallista maastotietojärjestelmää.

Selvitys on rajattu koskemaan pelkästään maa-alueiden korkeustietoja ja vesistöjen pinnankorkeustietoja, koska korkeus- ja syvyystietojen tuotantomenetelmät ovat selkeästi erilaisia. Hankkeessa on kuitenkin selvitettävä ja esitettävä menettelytavat, joilla korkeus- ja syvyystietojen yhteensopivuudesta huolehditaan.

Asettamiskirjeen mukaisesti työryhmän tehtävänä on:

- 1) arvioida valtakunnallisen korkeusmallin uudistamistarpeet ja -vaihtoehdot, tehdä tarvittaessa ehdotuksia uusista menettelytavoista ja arvioida uusien menetelmien kustannukset;
- 2) selvittää ja esittää menettelytavat, joilla korkeus- ja syvyystietojen yhteensopivuudesta huolehditaan

1.3 Työryhmän työskentelytapa

Maa- ja metsätalousministeriö asetti 9.6.2005 korkeusmallityöryhmän, jonka puheenjohtajana toimi ylitarkastaja Antti Vertanen maa- ja metsätalousministeriöstä ja varapuheenjohtaja maanmittausneuvos Arvo Kokkonen maa- ja metsätalousministeriöstä (25.11.2005 alkaen maanmittausneuvos Pekka Halme).

Työryhmän jäseniä olivat maanmittausinsinööri Antti Saarikoski Maanmittauslaitoksesta (varajäsen Mervi Saario), osastonjohtaja Juha Hyyppä Geodeettisesta laitoksesta (varajäsen Tapani Sarjakoski), geologi Jaana Jarva Geologian tutkimuskeskuksesta (varajäsen Olli Rantala), professori Erkki Tomppo Metsäntutkimuslaitoksesta (varajäsen Matti Katila), professori Martin Vermeer Teknillisestä korkeakoulusta (varajäsen Ulla Pyysalo), vanhempi suunnittelija Matti Joukola Suomen ympäristökeskuksesta, tiiminvetäjä Risto Rasimus Tiehallinnosta, insinöörieverstiluutnantti Henry Kvarnström Topografikunnasta (varajäsen Janne Filpus), toimistopäällikkö Matti Tujunen Helsingin kaupungista (varajäsen Matti Arponen) ja yksikön päällikkö Rainer Mustaniemi Merenkululaitoksesta.

Työryhmän sihteerinä toimi johtaja Juha Vilhomaa Maanmittauslaitoksesta (varajäsen Risto Ilves).

Työryhmä kokoontui 10 kertaa ja valmisteli yhteistyössä tämän muistion valtakunnallisen korkeusmallin uudistamistarpeista ja -vaihtoehdoista.

Työryhmä kuuli asiantuntijoina kaukokartoitusasiantuntija Janne Uutteraa Metsätalouden kehittämisskeskus Tapiosta ja yliassistentti Petteri Alhoa Turun Yliopistosta sekä toteutti alan yrityksille suunnatun kyselyn.

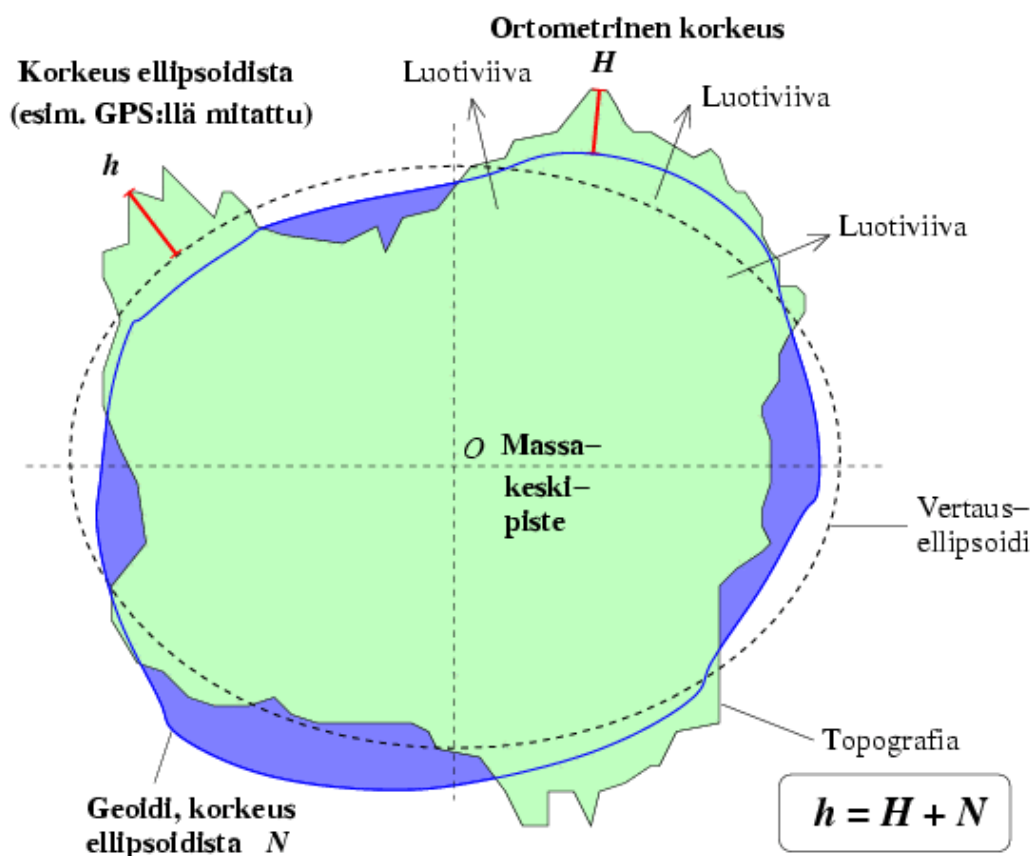
2 Valtakunnallinen korkeusmalli

2.1 Teoreettinen perusta

2.1.1 Korkeuksien fysikaalinen luonne

Tällä hetkellä käytössä olevat korkeudet ovat ortometrisiä (tarkemmin: Helmertin kaavan mukaisesti laskettuja) korkeuksia, sidottu valtakunnalliseen N60-datumiin. Ne ovat siis korkeuksia (keski-)merenpinnan eli *geoidin* yläpuolella. Tulevaisuudessakin käyttökorkedut tulevat olemaan referoituina keskimerenpintaan, koska näin on fysikaalisesti järkevää: ihmisen toiminta tapahtuu Maan painovoimakentässä ja korkeus on esineiden *energiatason* mitta tässä kentässä. Tämä on keskeisen tärkeää esimerkiksi rakentamisessa, liikenteessä ja veden ja muiden nesteiden hallinnassa ja kuljetuksessa: esimerkiksi tulvien ennustamisessa ja hallinnassa mitään muu kuin keskimerenpinnan suhteen määritetty korkeus ei ole tarkoituksenmukainen.

Kuitenkin uudet teknologiat korkeusjärjestelmien ja korkeusmallien määrittämiseksi perustuvat pitkälti globaaliiseen paikannustekniikkaan. Esimerkiksi laserkeilaus tapahtuu lentokoneesta, jota paikannetaan GPS:n avulla samanaikaisesti tunnetuissa paikoissa olevien tukiasemien kanssa. Näin saadaan korkeudet ns. geosentrisestä vertausellipsoidista GRS80 (ks. kuva 1). Suomen alueella GRS80-vertausellipsoidin ja geoidin (keskimerenpinnan) välinen tasoero vaihtelee 15m (Virolahti) ja 30 m (Kilpisjärvi) välillä.



Kuva 1. Eri korkeustyypit. H on korkeus keskimerenpinnasta, h vertausellipsoidista.

Voimme todeta, että korkeusmallissa on pystyttävä antamaan korkeuksia, joiden ominaisuudet ovat:

Geosentrisiä, ts. korkeuksia globaalisti määritetystä geoidista, joka taas on kuvattu vertausellipsoidin suhteen, jonka keskipiste on Maan massakeskipisteessä;
 Homogeenisia; toisin kuin nykyiset korkeudet, jotka ovat määritettyjä erilaisten tekniikkojen avulla ja vaihtelevat laadultaan ja määrittystavoiltaan myös eri maiden välillä;
 Kansainvälisesti yhteensopivia ja vertailukelpoisia.

Tilannetta voidaan verrata tasosijaintikoordinaattien tilanteen kanssa; perinteiset, paikallisten maan pinnan mittausten avulla määritetyt koordinaatit alueellisen vertausellipsoidin suhteen olleen korvaamassa geosentrisillä koordinaateilla, jotka on määritetty globaalisten paikannusmenetelmien avulla. Tärkeä ero on kuitenkin, että korkeuksien ollessa kyseessä tämä edellyttää globaalisen, tarkan ja vääristymättömän *geoidimallin* olemassaoloa (vrt. 2.1.3).

2.1.2 Tarkkuus ja mittaushierarkia

Valtakunnallisen korkeusmallin tarkkuusvaatimukset jakautuvat kahteen osaan:

Mallin *korkeusreferenssin* tarkkuus. Perinteisesti korkeusreferenssi eli korkeusperusrunko on toteutettu tarkkavaaituksen avulla. Alempien luokkien tihennysvaaitusten avulla varmistetaan, että kaikkialla Suomessa on käytettävissä tarkat korkeuskiintopisteet mm. kartoitus-, kaavoitus- ja rakennusmittaustoiminnan lähtökohdaksi, samassa valtakunnallisessa N60-korkeusdatumissa. Tarkkojen kiintopisteiden tarve eri käyttäjien lähellä ei tule tulevaisuudessaakaan häviämään.

Mallin sisältämän *aineiston* käytännön tarkkuus. Tähän sisältyy myös korkeusreferenssin tarkkuus, mutta on lähes aina sitä heikompaa, koska maaston pinta ja sen päällä olevat objektit ovat luonteeltaan usein heikosti määritettävissä. Esimerkiksi pellon pinta on epätasainen ja tutkassa sen taso voi olla epävarma 10 cm toleranssilla, vaikka pellon reunalla olisikin 1 cm tarkka kiintopiste.

Tämän lisäksi on mainittava mallin geolokaation (sijainnin) tarkkuus ja sen resoluutio (erotuskyky). Huonosti valittu esitystapa (esimerkiksi liian karkea TIN-kolmiosto) voisi edelleen heikentää kohdassa 2. tarkoitettua, tehollista aineiston korkeustarkkuutta, etenkin epätasaisessa tai kaltevassa maastossa.

Loppukäyttäjistä suurin osa lienee ensisijaisesti kiinnostunut *maastokorkeuksista*. Kuitenkin niiden oikeellisuus edellyttää, että korkeusreferenssi on hyväksyttävällä tavalla toteutettu.

Korkeusreferenssin hierarkkisen rakenteen ansiosta voidaan tutkia virheiden kasautumista datum-pisteestä loppukäyttäjälle. Tarkkavaaitus antaa koko Suomeen korkeuksien tarkkuuden $\pm 0.64 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ (Toinen tarkkavaaitus, Kääriäinen 1966). Tämä merkitsee koko Suomen pituudella (1000 km) n. $\pm 20 \text{ mm}$ epävarmuutta. Yksittäisen pisteen ilmoitettu epävarmuus riippuu kuitenkin mielivaltaisesti valitusta datum-pisteestä, joka on tässä tapauksessa Helsinki. Aina on tutkittava koko pistekentän tarkkuusrakennetta.

Uudet teknologiat voivat mullistaa sekä korkeusreferenssin että korkeusmallin toteuttamismahdollisuudet lähitulevaisuudessa. Näitä ovat koko maata kattavan, tarkan korkeusperusrungon luominen GPS:n ja tarkan geoidin sekä maannousumallin avulla, sekä valtakunnallisen digitaalisen maastomallin luominen ilmasta tapahtuvan laserkeilauksen avulla. On tärkeää, että molemmat hankkeet koordinoidaan ja integroidaan, ja että valtakunnallinen korkeusmalli on sidottu valtakunnalliseen korkeusreferenssiin, tarkan geoidimallin avulla. Uusien satelliittipainovoimamissioiden ansiosta viimeksi mainittu voisi samalla olla kansainvälisesti yhtenäinen.

2.1.3 Korkeusmalli ja geoidi

Nykyiset korkeusjärjestelmät ovat kaikki referoituja keskimerenpintaan, ja näin tulee olemaan myös tulevaisuudessa edellä mainituista käytännön syistä johtuen. Kuitenkin nykyaikainen korkeudenmittaus perustuu olennaisesti tarkkaan GPS-paikannukseen, joka antaa korkeuksia vertausellipsoidista. Näiden kahden korkeustyyppin konvertoiminen toisiinsa edellyttää tarkan ja vääristymättömän *geoidimallin* olemassaoloa Suomen alueelta.

Paras Suomen alueelta olemassa oleva geoidimalli, Geodeettisen laitoksen FIN2000-malli, on keskivirheeltään noin ± 5 cm. Mallissa voi kuitenkin esiintyä jopa desimetrin luokkaa olevia virheitä (Ollikainen 2002). Malli on määritetty gravimetrisesti yhdistämällä globaali painovoimaineisto – tällä hetkellä vielä hyvin epäyhtenäinen ja puutteellinen – ja Suomessa suoritettuja painovoimakartoitusmittauksia, ja kiinnitetty vaaittuihin GPS-havaintopisteisiin laskutulokseen jääneiden vääristymien poistamiseksi.

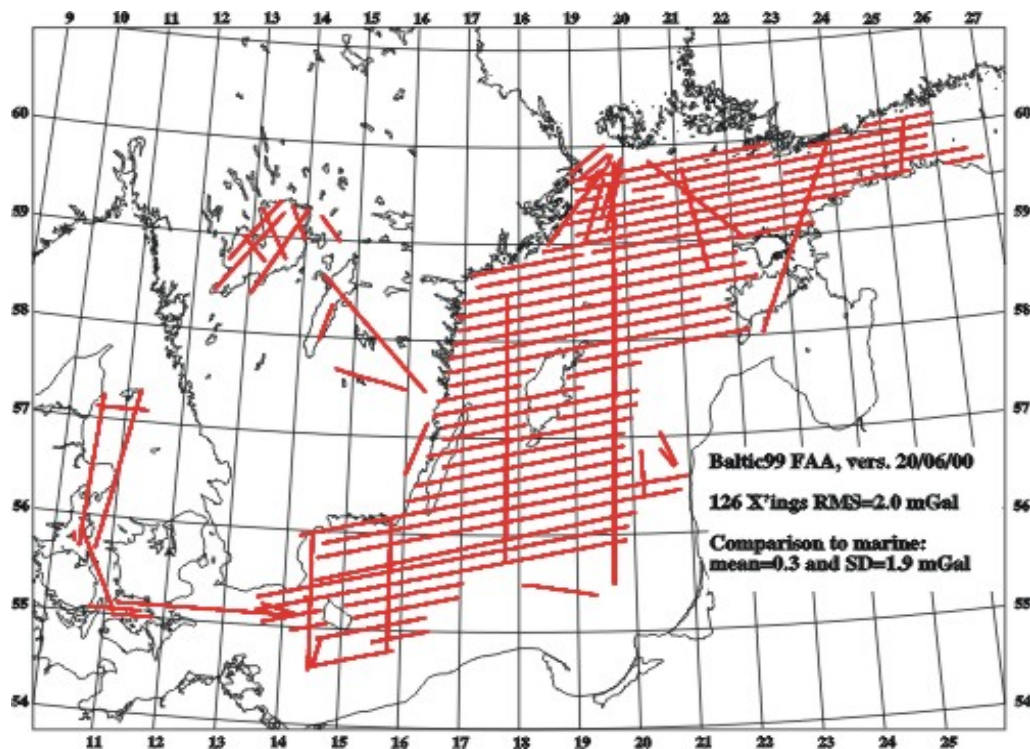
Geoidimallin ± 5 cm epätarkkuus johtunee puutteellisesta painovoimadatasta Suomen rajojen ulkopuolella (Vermeer 1996), vaikkakin tämä ongelma on jo suurilta osin korjautunut uusien CHAMP- ja GRACE- painovoimasatelliittien ansiosta ja tilanne tulee vielä paranemaan GOCEn lennon jälkeen.

Tulevaisuuden geoidimallissa käytettäisiin hyväksi näiden satelliittipainovoimamissioiden tuloksia yhdessä paikallisten painovoimamittausten kanssa. Parasta olisi, jos nämä paikalliset painovoimamittaukset olisivat yhtä homogeenisia kuin globaali satelliittiaineisto. Siksi olisi suoritettava *ilmagravimetriamissio* Suomen alueen yli. Verrattuna Maan pinnalla suoritettuun painovoimakartoitukseen, lentokorkeudessa mitattu painovoima olisi vähemmän herkkä maaston hyvin paikallisten vaihteluiden aiheuttamiin painovoimahäiriöihin, jotka ovat erittäin vaikeita mitata ja mallintaa. Lentokorkeus aiheuttaa jo jonkinlaisen keskiarvostamisen, joka sopii hyvin yhteen geoidilaskennassa käytettävän *integraation* kanssa.

Suomessa on aikaisemmin osallistuttu ilmapainovoimamittauksiin, vuonna 1999 suoritettiin Itämeren yli mittaus pohjoismaisena yhteistyöprojektina (kuva 2, Forsberg ym. 2001). Laserkeilaus ilmasta käsin tarjoaisi ihanteellisen alustan sellaiseen mittaukseen ilman merkittäviä lisäkustannuksia. Mittauksen tuloksena saatu Suomen senttimetrigeoidi olisi arvokas resurssi myös itse laserkeilauksen prosessointiin, ja eliminoidisi käytännössä täysin hankalan GPS-korkeuksien ja ”käyttökorkeuksien” välisen eron.

Se, että käyttäjäkunnasta suurin osa olisi kiinnostunut vain ortometrisista korkeuksista, ei merkitse, ettei korkeusmalli voisi koostua kolmesta riippumattomasta osatuotteesta: ortometrinen korkeus H , ellipsoidinen korkeus h ja erikseen geoidimalli N . Käyttäväthän jotkut käyttäjät itsekkin GPS:ää. Jos Suomi siirtyy uuteen korkeusjärjestelmään, kuten on valmisteilla, olisi sitä käytettävä N60:n sijasta.

Suomen uusi korkeusjärjestelmä tulee todennäköisesti olemaan normaalikorkeusjärjestelmä, jonka korkeudet on laskettu epookkiin 2010. Vanhan (N60) ja uuden korkeusjärjestelmän välillä määritettäisiin muunnospinta, jota voidaan käyttää myös geoidimallin muuntamiseen. Kummallakin korkeusjärjestelmälle on räätälöity oma geoidimalli.



Kuva 2. Itämeren ilmapainovoimamittauskampanja 1999 (Kort- og Matrikelstyrelsen)

2.2 Korkeusmallien esitystavat

Maastomalleissa käytetään pääsääntöisesti kahta erilaista esitystapaa (ks. kuva 3.) samalla tavalla kuin tietokonegrafiikassa käytetään joko pikseli- tai vektorigrafiikkaa:

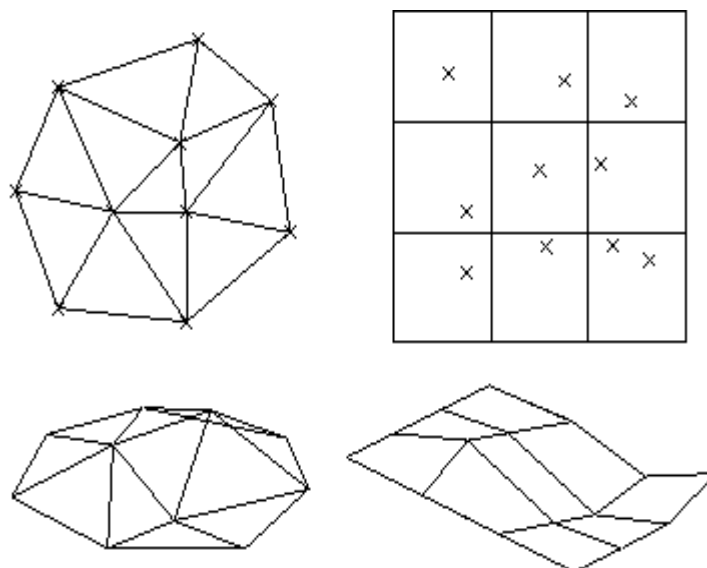
- **Pistehila-esitystapa (GRID).** Sopii hyvin tietokoneen "ajattelutapaan" eli suurtenkin aineistojen käsittely on suoraviivaista ja helppoa. Mallin muodostaminen tapahtuu interpoloimalla havaintoarvot hilan "noodipisteisiin", jotka muodostavat säännöllisen verkon.

Säännöllinen hila voi olla neliön muotoinen, suorakulmainen, tai monimutkaisempi heksakuvi ("mehiläiskenno"); tai kolmiotyyppinen.

- **"Kolmiointi"-esitys (TIN, Triangulated Irregular Network).** Tässä valitaan ja mitataan maastosta "edustavia pisteitä" ja ne kytketään yhteen väliviivojen avulla muodostaen kolmioiden peite. Eräs tunnettu matemaattinen kolmiointitapa on *Delaunay-kolmiointi*, joka antaa kauniita, ei-pitkulaisia, kolmioita.

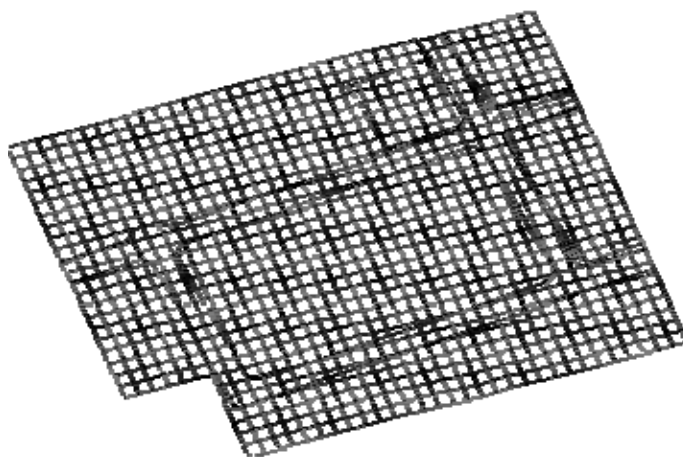
Kolmiointityyppinen maastoesitys on hieman vaikeampi käsitellä, mutta sen avulla voidaan vaikeat maaston muodot (reunat jne.) esittää paremmin kuin hilaesitys pienemmällä pisteiden määrällä. Yleisemmin, kun maastomallin erotuskyky on alueellisesti vaihteleva, on kolmiointityyppinen esitystapa tehokkaampaa, koska kolmioiden koot vaihtelevat erotuskyvyn mukaan.

Myös kolmiointityyppisille esitystavoille on olemassa tehokkaita interpolointimenetelmiä. Onhan kyseessä lineaarinen interpolointi: interpoloitu arvo on kolmion sisällä nurkkapisteen arvojen painotettu keskiarvo yksinkertaisesti laskettavilla painoilla (Vermeer et al. 2004).



Kuva 3. Kolmionti (vas.) vastaan hilaus (oik.).

Kolmas mahdollinen korkeusmallin esitysmuoto on hybridimalli. Se voidaan ajatella mallina, joka on alun perin esimerkiksi harvahko hilausmalli, ja johon on liitetty laserkeilauksella tai muulla menetelmällä tuotettu tiheämpi korkeuspistejoukko tai profiili tai taiteviiva. Tällaiset mallit ovat yleistyneet kun olemassa olevia hilausmalleja on parannettu rajoitetuilta alueilta tuotetuilla tarkemmilla tai tiheämmillä korkeustiedoilla. Hybridimalli mahdollistaa sen, että koko mallin alueelta ei tarvitse olla homogeenista korkeuspisteaineistoa, mutta silti sitä voidaan käsitellä yhtenä korkeusmallina.



Kuva 4. Hybridimalli (<http://www.ipf.tuwien.ac.at/fr/buildings/diss/node28.html>)

Lisäksi on mainittava (moni-resoluutio-)"kaakelointi" -menetelmät, jotka perustuvat diskreettiin aallokemuunnokseen ja ovat tarkoitettuja aineistojen interaktiiviseen esittämiseen. Esimerkiksi <http://meru.rnet.missouri.edu/mvl/kolam/>. Myös kuvaformaatti jpeg2000 sekä jo hyvin tunnettu "Google Earth" perustuvat tähän tekniikkaan. Tämä esitystapa mahdollistaa äärimmäisen nopeat katselupaikan siirrot ja zoomaukset. Se soveltuu vielä Delaunay-kolmiointia paremmin vaihteleva- resoluutioisten aineistojen esittämiseen interaktiivisesti.

2.3 Nykyiset korkeusmallit

2.3.1 25 metrin ruutukoko

Maanmittauslaitos on tuottanut vuonna 1995 valtakunnallisesti kattavan digitaalisen korkeusmallin yhtenäiskoordinaatistossa (kkj-3 kaistassa, Gauss-Krüger projektiossa). Korkeusmalli on laskettu digitoiduista peruskartan korkeuskäyristä (5 m), osassa maata on ollut käytettävissä myös apukäyrät (2.5 m). Lapin alueelta käytettävissä oli Puolustusvoimien aineisto, jossa korkeuskäyräväli oli 10 metriä. Jyrkänteitä ja muita (taite)viivoja ei laskennassa käytetty. Laskennassa koordinaattiaineistosta on muodostettu optimaalinen kolmioverkko (TIN), josta interpoloitiin 25 metrin säännöllinen ruutumalli. Tämän jälkeen vesistöalueet maskattiin tasakorkeuteen niiltä osin kuin digitaalista vesistöjen rantaviiva-aineistoa oli käytettävissä.

Tuotettua korkeusmalli-25 aineistoa ei ole päivitetty vuoden 1995 jälkeen. Korkeusmalli-25 (MML25) sisältää epähomogeenisesta lähtöaineistosta johtuvia karkeita virheitä. Korkeuskäyrät on pääosin tuotettu fotogrammetrisin menetelmin, mutta vuonna 1995 oli olemassa laajoja alueita, joilta korkeuskäyrien laatu ei ollut riittävä, koska niiden tuotannossa oli vuosikymmenten varrella käytetty hyvin vaihtelevia tekniikoita. Verrattaessa korkeusmalli-25 aineistoa valtakunnalliseen korkeuskiintopisteistöön (62876 kpl), on mallin keskivirheeksi saatu 1.76 metriä. Tosin on huomioitava, että korkeuskiintopisteet sijaitsevat teiden varsilla avoimilla paikoilla, joista fotogrammetrisesti saadaan tarkkoja korkeushavaintoja.

2.3.2 10 metrin ruutukoko

Maanmittauslaitoksen maastotietotuotannon prosessit uudistettiin siten, että korkeuskäyrien valtakunnallinen laadunparannustyö alkoi vuoden 2001 alusta lähtien. Myös pohjoisen Lapin kartoitusvastuu siirtyi Puolustusvoimilta Maanmittauslaitokselle, minkä seurauksena Lapista ryhdyttiin laatimaan maastotietokannan määrittysten mukaista 5 metrin korkeuskäyräaineistoa.

Maastotietotuotannon prosessissa ryhdyttiin laskemaan uutta 10 metrin ruutukoon korkeusmallia (MML10) kartoitusalueittain maastotietojen tuotanto-ohjelman mukaisesti. Mallia on laskettu n. 40 prosenttia Suomen pinta-alasta (indeksikartta tilanteesta 22.06.2005 liitteenä). Laskenta tapahtuu fotogrammetrisesti seuraavan prosessin mukaisesti numeerisella fotogrammetrisella Espä-stereotyöasemalla (kuvaus ei sisällä prosessin eri vaiheissa tehtäviä lukuisia eheystarkastuksia):

- käydään alueen vesistöjen rantaviivat läpi ja korjataan aineisto vastaamaan maastoa,
- mikäli vesistössä on ympäristökeskuksen vedenkorkeuden mittaus (vesiasteikko), tallennetaan korkeustieto vesistön aluetunnuspisteeseen, muussa tapauksessa tallennetaan fotogrammetrisesti mitattu (arvioitu) keskivedenkorkeus,
- vedenkorkeus ajetaan aluetunnuspisteestä rantaviivan koordinaattien korkeustiedoksi,
- tarkistetaan ja korjataan korkeuskäyrien korkeusluvut (ajo),
- korjataan korkeuskäyrät vastaamaan maastoa,
- mitataan korkeuspisteitä sellaisiin maastokohtiin, joissa on tarve pakottaa mallia maastonpintaan (kuvausta ei voi hoitaa pelkillä korkeuskäyrillä),
- lasketaan 10 m korkeusmalli, tarkastetaan se visuaalisesti, tarvittaessa palataan korjaamaan korkeuskäyriä,
- maskataan vakavesien osalta korkeusmallin korkeustiedot tasakorkeuteen,
- johdetaan korkeusmallista korkeudet maastotietokannan vektoreille, jos vektorissa jo oleva korkeustieto poikkeaa enemmän kuin 2 metriä korkeusmallista saatavaan tietoon verrattuna,
- korjataan maastotietokannan vektorit vastaamaan maastoa,
- verrataan (ajo) maastotietokannan vektoreita korkeusmallin tietoihin, joko vektoreita tai korkeuskäyriä korjataan,
- lasketaan lopullinen korkeusmalli käyttäen hyväksi sekä korkeuskäyriä että maastotietokannan vektoritietoa,
- maskataan vakavedet.

Ylä-Lapin alueella, mistä ei ole olemassa maastotietokannan määritysten mukaista korkeuskäyräaineistoa, toimitaan kahdella eri prosessilla. Avoimilla alueilla (valtaosa Ylä-Lapista) laskeetaan fotogrammetrisesta stereomallista kuvakorrelaatiolla vapaa pisteaineisto, josta interpoloidaan 10 metrin korkeusmalli ja edelleen korkeuskäyrävililtään 5 metrin korkeuskäyrät. Peitteisessä maastossa, missä kuvakorrelaatiomenetelmä ei ole riittävän luotettava, käytetään lähtöaineistona Puolustusvoimien korkeuskäyrävililtään 10 metrin korkeuskäyräaineistoa, joka tiennetään ja korjataan korkeuskäyrävililtään 5 metrin aineistoksi. Myös tällöin lasketaan 10 metrin ruutukoon korkeusmalli.

Geodeettinen Laitos on tutkinut eräältä alueelta (Nummi-Pusula) MML10-mallin ominaisuuksia, laatua ja verrannut sen tarkkuutta tarkalla laserkeilauksella tuotettuun referenssikorkeusmalliin. Korkeuspoikkeaman keskiarvoksi todettiin 0,18 m ja poikkeamien keskihajonnaksi 1,08 m, mitä voidaan pitää erittäin hyvinä tunnuslukuina.

2.3.3 Muut korkeusmallit

Kaupungit, tiehallinto ja jotkin muut organisaatiot tuottavat paikallisia korkeusmalleja pääasiassa suunnittelun ja rakentamisen tarpeisiin. Nämä mallit ovat yleensä valtakunnallisia malleja tarkempia, mutta ne ovat osittain tilapäisiä ja kattavat vain rajattuja alueita. Laserkeilausta on alettu soveltamaan yhä laajemmin myös paikallisissa hankkeissa.

Helsingin kaupungin tuottamia korkeusmalleja on kuvattu tarkemmin kohdassa 4.4.

2.4 Nykyinen syvyysmalli

2.4.1 Ympäristöhallinnon syvyyskartoitukset ja -aineistot

Ympäristöhallinnon syvyyskartoitusten tavoitteena on tuottaa yleispiirteistä järvien pohjamuotoja kuvaavaa paikkatietoaineistoa sekä ympäristöhallinnon, että muiden tiedon tarvitsijoiden käyttöön. Pääasiallisina luotauskohteina ovat kooltaan 0,5 - 100 km² kokoiset järvet. Aineistoja ja niistä johdettuja karttoja käytetään niin vesien hoidon, käytön kuin suojelunkin tarpeisiin.

Toimintaa aloitettaessa 1970-luvulla silloisessa vesihallituksessa luotiin valtakunnalliset ohjeet ja tarkkuusvaatimukset sen aikaisia luotausmenetelmiä ja kartta-aineistotarpeita silmällä pitäen. Sitten luotausmenetelmät ovat kehittyneet, mutta mittaustarkkuuden osalta vähimmäisvaatimukset on pidetty samoina. Ympäristöhallinnon järvirekisterissä on kullekin luodatuille järville annettu arvio luotaustarkkuudesta, joka perustuu luotausmenetelmään ja luotausajankohtaan ja se on jaettu vaaka- ja pystykomponenttiin. Vaakasijainnin tarkkuudet on luokiteltu seuraavasti: 1 m, 2 m, 5 m, 10 m, 20 m ja >20 m. Syvyyshavainnon tarkkuustasot ovat välillä 0,1 m + 1% syvyydestä ... 0,2 m + 2% syvyydestä.

Pääasiallisena luotausmenetelmänä on nykyisin käytössä kaikuluotaukseen ja GPS-paikannukseen perustuva linjaluotaus. Siinä järven pohjaprofiili selvitetään 50 – 75 m välein ajetuilta luotauslinjoilta. Tämän menetelmän mukaisia luotauskalustoja on ympäristöhallinnossa käytössä kaksi kappaletta ja niiden tuotantovauhti on yhteensä noin 300 km² vuodessa. Kartoituksia tehdään SYKE:n ja alueellisten ympäristökeskusten yhteistyönä pääasiassa yli 0,5 km² kokoisille järville. Vuoden 2005 lopussa on käytännössä kaikki yli 50 km² kokoiset järvet on kertaalleen luodattu, kun yli 0,5 km² kokoisista täysin luotaamatta on noin 2350 järveä käsittäen vielä yli 4100 km²:n vesialueen. Lisäksi on tarpeen tehdä täydennysluotauksia aikanaan puutteellisesti luodatuilla tai virheellisiä syvyystietoja sisältävillä alueilla. Kartoituksia kohdennetaan järvien kunnostustarpeen sekä mahdollisten tutkimus- ja seurantahankkeiden tarpeiden mukaan, mutta tavoitteena on kaikkien yli 0,5 km² kokoisten järvien luotaus. Työn on laskettu kes-

tävän nykyisellä, n. 300 km²:n vuosivauhdilla 15 vuotta. Erityisesti EU:n vesipolitiikan puitedirektiivi on luonut lisäpainetta työn edelleen jouduttamiseksi.

Mittausaineistoista johdetaan järvien pohjamuotoja kuvaavat paikkatietoaineistot. Ne viedään ympäristöhallinnon paikkatietokantaan sekä maanmittauslaitoksen maastotietokantaan jossa ne ovat osana kansallista paikkatietovarantoa. Tiedot luotauksista, metatietoa luotausaineistoista ja luotausten perusteella lasketut järvien fysiografiset tunnusluvut tallennetaan järvirekisteriin. Syvyystiedot julkaistaan maanmittauslaitoksen kanssa tehdyn sopimuksen mukaisesti yleisillä maastokartoilla mittakaavoissa 1:20000 ja 1:50000.

2.4.2 Merenkululaitoksen syvyysmittaukset

Merenkululaitoksessa on syvyystiedon keruuseen käytetty akustisia menetelmiä jo 1900 -luvun alkupuoliskolta lähtien, mutta kaikuluotauksella mitattujen tietojen tallennus digitaaliseen muotoon yleistyi käytännöksi vasta 1980-luvulla. 1993 Suomessa käyttöön otettu ja 2000 -luvulle tullessa ”päämittaustekniikaksi” yleistynyt monikeilainmittaus (engl. multibeam echo sounding) on mahdollistanut ”tiheäresoluutioisen” tiedon keräämisen. Tällä nykyisin, MKL:n pääasiallisen merenmittausmenetelmän syvyyshavaintojen (syvyyspisteiden) tiheys mitatuilla alueilla on parhaimmillaan senttimetriluokkaa ja harvimmillaankin 1 - 2 metriä (yli 50 metriä syvyisillä merialueilla). Syvyyshavaintojen ”syvyystarkkuus” vaihtelee 10 cm:stä 1 m:iin, havaintojen virhebudjetin koostuessa enimmäkseen vesisyvyydestä ja mittausolosuhteista johtuvista tekijöistä. ”Paikanustarkkuus” näissä mittauksissa on keskimäärin parempi kuin 2 metriä.

Vesistön syvyysmittauksissa voidaan käyttää myös laseriin perustuvia menetelmiä. Erästä selaista testattiin Suomessa, saaristomerellä 1999. Mittauksen suoritti australialainen Tenix Lads Corporation omistamallaan LADS Mk II laitteistolla noin 150 km²:n suuruiselta alueelta. Parhaimmillaan pohjakartoitus onnistui 17 metrin syvyyteen saakka, mutta kattava syvyystieto (syvyysmalli) onnistuttiin luomaan vain alle 8 metrin syvyisiltä vesialueilta.

MKL:n vuosittainen merenmittausvolyyymi on viime vuosina, monikeilainmittausten osalta ollut 1500 - 1800 km². Tähän saakka on syvyysaineistot mitattu MKL:n merenmittausorganisaation toimesta. Jatkossa voidaan tiedonhankintavolyyymia kasvattaa hankkimalla syvyystietoja (tilaamalla merenmittauksia) ulkoisilta toimijoilta. Parhaillaan on meneillään merenmittauksen ulkoisen hankinnan pilotointi, jossa Suomenlahdella ollaan hankkimassa syvyystietoa (monikeilainmittaus) lähes 4000 km²:n suuruiselta alueelta.

Mitatut syvyysaineistot tallennetaan keskitettyyn tietovarastoon tiettyjen käsittelyvaiheiden jälkeen. Tällä hetkellä tietovarasto koostuu syvyyspisterekisteristä (SYRE), jonne syvyystieto luokitellaan ja tallennetaan havaintopisteinä (pistepilvi). Suurehko osa aineistosta on vielä SYRE:n ulkopuolella odottamassa tallennusta tietokantaan. SYRE on rakennettu palvelemaan MKL:n sisäisiä tarpeita, tärkeimpinä mainittakoon merikarttojen syvyystietojen tuottaminen ja väylien suunnittelu sekä ylläpito. Syvyystietojen (modernien merenmittausaineistojen) alueellinen kattavuus on esitetty liitteessä 2.

Merialueiden (aluevedet) merenmittaustieto ja -aineistot ovat ”ei-julkista tietoa”, jonka saatavuus on siten rajoitettua ja luvanvaraista. Sama koskee näistä tiedoista prosessoituja syvyysmalleja ja muita johdettuja tuotteita pl. merikarttatuoiteilla (painetut merikartat, elektroniset merikartta-aineistot) esitetty syvyysinformaatio.

MKL:n strategiassa ja suunnitelmissa on jatkaa syvyystietojen hankkimista kauppamerenkulun ja muunkin vesiliikenteen tarvitsemilta alueilta. Tämä tarkoittaa syvyystietojen keräämistä (pohjatopografian kartoitusta) käytännössä kaikkien väylien sekä niiden lähiympäristöjen alueilta, muilta kauppamerenkulun tarvitsemilta merialueilta sekä erikseen määritellyitä sisävesialueilta käsittäen yhteensä noin 98 000 km². Tämä alue on 23 % koko Suomen pinta-alasta. (Viite: Merikartoitusohjelma 2005 – 2015, Merenkululaitoksen julkaisuja 7/2005).

3 Korkeusmallin käyttö ja malliin kohdistuvat tarpeet

3.1 Yleistä

Seuraavassa esitellään eri tahojen korkeusmalliaineistojen käyttöön ja korkeustietoihin kohdistuvia tarpeita. Tarkastelussa on pääpaino työryhmän tunnistamissa ”valtakunnallisissa” toiminnoissa, paikallisen tason toiminnot on jätetty tarkastelun ulkopuolelle, koska niissä tarvittavan korkeusmallin ominaisuudet ovat toisentyypiset. Syvyystietojen osalta vastaavaa tarkastelua ei tehty, koska työryhmän tehtävä on rajattu koskemaan pelkästään maa-alueiden korkeustietoja ja vesistöjen pinnankorkeustietoja.

3.2 Geologian tutkimuskeskus

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) alainen valtakunnallinen geologian alan tutkimuskeskus. GTK:n tehtävänä on kartoittaa ja tutkia maankamaraa geologian, geofysiikan ja geokemian menetelmin sekä tuottaa luonnonvarojen kestäväää käyttöä edistävää tietoa erityisesti kaivos- ja rakennusteollisuuden, maankäytön sekä luonnon- ja ympäristönsuojelun tarpeisiin.

GTK:ssa on käytetty Maanmittauslaitoksen tuottamaa 25 metrin korkeusaineistoa sekä tehty tarkempia malleja maastotietokannan korkeuskäyräaineistosta. Lisäksi korkeusmalleja on laskettu asiakkaiden, pääasiassa kuntien, korkeuskäyristä tai tutkimusalueella vaaituista korkeuksista.

Geofysikaaliset ja geologiset mallinnukset

Geofysikaalista mallinnusta tehdään monella eri menetelmällä (sähkömagneettinen, sähköinen, magneettinen, gravimetrinen (painovoima), seisminen jne.) ja monessa eri mittakaavassa. Kaikissa käytetyissä menetelmissä voidaan tehty geofysikaalinen malli rajata maanpintaan. Mitä yksityiskohtaisempia malleja tehdään, sitä parempi korkeusmallin resoluution ja tarkkuuden tulee olla.

Maaperän moniulotteisessa mallinnuksessa GTK tulee enenevässä määrin tarvitsemaan mallien ylätasoksi tarkkaa maanpinnan korkeusmallia. Maaperän ja pohjavesialueiden rakennetulkinnat, harjujen rakennetutkimukset, maa-ainesselvitykset, geokemialliset kulkeutumismallit sekä muut ympäristötyöt ovat kasvavia tutkimusaloja, jotka edesauttavat luonnonvarojen kestäväää käyttöä ja antavat arvokasta tietoa mm. ympäristönsuojeluun ja raaka-ainehuoltoon. Näihin sovelluksiin riittää yleensä korkeusmalli, jonka resoluutio on 5x5 metriä ja keskivirhe on alle yhden metrin. Pohjaveden virtausmallinnuksissa käytetyn korkeusmallin tulee kuitenkin olla tarkempi. Usein tarkoissa kohteellisissa virtausmalleissa käytetään jopa senttimetrien erotuskyvyn omaavaa korkeusmallia.

Painovoimamittaukset

GTK käyttää painovoimamittauksia raaka-ainevarojen kartoituksessa ja kallioperätutkimuksissa. Viime vuosina painovoimamittauksia on lisääntyvästi käytetty myös maaperätutkimuksissa irto- maapeitteen paksuuden ja tiheyden määrittämisessä. Alueellisessa painovoimakartoituksessa on mitattu keskimäärin 6 pistettä/km² maankuoren rakennetutkimuksen, geologisen kartoituksen ja raaka-ainevarojen etsinnän kannalta tärkeillä alueilla. Vuoden 2006 tavoitteena on jatkaa alueellista painovoimakartoitusta noin 7100 pisteen mittauksella.

Valtakunnallista korkeusmallia käytetään painovoimahavaintojen topografiseen korjaukseen (maastokorjaus). Painovoimamittauksissa lasketaan topografisten massojen vaikutus painovoimaan ja poistetaan se painovoima-anomaliaista. Kohteellisissa painovoimatutkimuksissa käy-

tään 18,8 km:n laskentasädetä, mutta geodeettisissa tutkimuksissa käytetään yleensä 167 km:n sädettä tai joskus jopa suurempaa sädettä. Suomen rajojen läheisyydessä korkeusmallin tulisi jatkua naapurimaiden puolelle ainakin tuon 18,8 km:n verran. Mittaustulosten topografiassa korjauksessa pyritään huomioimaan myös meren ja järvien pohjan topografia.

Korkeusmallia käytetään myös alueellisten painovoimamittausten korkeuden määrittämiseen korkeiden virheiden paikantamiseen. Iso ero korkeusmallin ja mittauksen välillä saattaa merkitä virhettä tehdyssä mittauksessa. Tällainen laatukontrolli on sitä tehokkaampaa, mitä tarkempi korkeusmalli vertailussa on käytettävissä.

Kallioperän rakenteiden tulkinta

Korkeusmallia käytetään yhtenä havaintoaineistona kallioperän rakenteiden tulkinnassa. Korkeusmallin avulla on esimerkiksi tulkittu kallioperän rakenteita: lohkoja, murroksia, siirroksia ja heikkousvyöhykkeitä. Näissä tulkinnoissa nykyistä sekä resoluution että keskivirheen osalta tarkempi korkeusmalli parantaisi tehtävää kallioperän rakennemallia.

Maankohoamisen mallinnus

Maankohoamisesta aiheutuvia korkeussuhteiden muutoksia on mallinnettu nykyisestä korkeusmallista sekä nykypäivästä taaksepäin että tulevaisuuteen. Näiden maankohoamismallien (rannansiirtymiskarttojen) laskentaan GTK:ssa on kehitetty ohjelma, joka laskee kaltevan rasteripinnan järvaltaan kuroutumiskynnyksen korkeuden avulla ottaen huomioon nykyisen korkeusmallin muutamia korkeuspisteitä, gradientin ja maankohoamisen suunnan. Tämä kalteva rasteripinta vähennetään nykyisestä korkeusmallista, jolloin saadaan nk. muinainen korkeusmalli sekä altaan kuroutumisen aikainen rantaviiva. Järvi- ja suoalaiden pohjien korkeustieto (ja vedenkorkeustieto) toisi arvokasta lisäinfoa maankohoamismallien laskentaan. Maankohoamiskarttoja on käytetty apuna mm. Museoviraston töissä kivikautisten asuinpaikkojen paikallistamisessa ja visualisoinnissa.

Maankäytön suunnittelu

GTK käyttää nykyistä korkeusmallia maaperän korkokuvan tekemisessä. Alueen maaperää ja topografian vaihtelua kuvaavia karttoja käytetään mm. maankäytön suunnittelun tukena maakunta- ja yleiskaavoissa. Myös kallioperäkartan ja korkeusmallin yhdistelmää on joillakin alueilla käytetty suunnittelun apuna. Maaperän korkokuvakartta on usein myös tavallista maaperäkarta informatiivisempi ja havainnollisempi kartta tutkimusraporteissa ja muissa visualisoinneissa.

Nykyistä korkeusmallia on käytetty myös näkyvyysanalyysien tekoon. Maakuntaliitot ovat olleet kiinnostuneita esimerkiksi siitä, miten ja kuinka laajalle mahdolliset maa-ainesten ottoalueet näkyvät lähiympäristön maisemassa.

Maakunta- ja yleiskaavataso rakennettavuuskarttoihin ja -selvityksiin korkeusmallista on laskettu rinnekaltevuus sekä rinteiden suunta. Korkeusmallin avulla on määritetty myös valuma-alueita ja sitä on käytetty jokien sekä eteläisen Suomen rannikkoalueiden vedenkorkeuden vaihteluiden vaikutusalue selvityksissä. Nykyistä korkeusmallia tarkempi malli laajentaisi mallin käyttöä kaavoituksessa ja maankäytön suunnittelussa.

Korkeussuhteiden muutosten seuranta

GPS –gravimetrausta käytetään kaatopaikkojen kokoonpainumisen seuraamiseen. Kaatopaikkojen kokoonpainumisen lisäksi tarkalla, säännöllisesti päivitetyllä korkeusmallilla olisi käyttöä maa-ainesten otto- ja kaivosalueiden sekä soiden tms. korkeussuhteiden muutoksien pitemmän aikavälin seurannassa. GTK tulee osaltaan ylläpitämään valtakunnallista maa-aineiden ym. raaka-aineiden tilinpitoa, johon kuuluu osana seurata maa-ainesten oton aiheuttamia muutoksia raaka-aineiden määrässä.

GTK:lla on runsaasti Suomessa kerättyä geoinformaatiota ja osassa havaintoaineistoa talletettu korkeustieto on puutteellinen. Absoluuttisesti tarkka korkeusaineisto mahdollistaa näiden vanho-

jen havaintojen korkeustiedon päivittämisen ja myös uusien korkeushavaintojen laadun kontrollin.

Yhteenveto

Tarkan korkeusmallin tekeminen olisi GTK:n kannalta hyödyllistä ja suositeltavaa. Se lisäisi nykyisin tehtävien mallien tarkkuutta ja loisi osaltaan pohjaa uusille mallinnusmahdollisuuksille, eikä GTK:ssa tarvitsi käyttää resursseja nykyisissä määrin korkeusmallien tekoon. Uuden korkeusmallin ruutukoon tulisi olla mielellään 5m x 5m tai jopa 1m x 1m. Keskivirheen tulisi olla alle yhden metrin. Korkeusmalliin tulisi sisällyttää merenpohjan ja järvien pohjien korkeustieto (ja ehkä myös soiden pohjien korkeustieto). Korkeusmallin käyttökelpoisuus olisi parempi, jos se kattaisi koko maan ja jatkuisi noin 20 km Suomen rajojen ulkopuolelle. Säännöllisin määräajoin tapahtuva päivitys (ainakin kasvukeskuksissa ja Länsi-Suomen maankohoamisrannikoilla) antaisi mahdollisuuden korkeusmallien käyttöön mm. maankohoamisen ja maa-ainesten oton seurannassa.

3.3 Metsäkeskukset

Maa- ja metsätalousministeriön tulosohtauksessa kolmetoista itsenäistä alueellista metsäkeskusta valvoo metsälakien toteutumista ja edistää metsien kestävää hoitoa ja käyttöä sekä niiden monimuotoisuuden säilymistä ja metsätalouden ympäristönsuojelua. Viranomaistehtävien lisäksi metsäkeskukset mm. suunnittelevat ja toteuttavat valtion rahoitustuella tehtäviä metsätalouden töitä puuntuotannon kestävyys turvaamiseksi sekä edistävät ja suorittavat alueellista ja tilakohtaista metsäsuunnittelua.

Seuraavassa on koostettu lyhyesti korkeusmallin käyttötarpeet ja vaatimukset metsäkeskusten näkökulmasta. Näihin on katsottu kuuluvan myös korkeusmallin tuottamiseen kerättävän aineiston muut mahdolliset käyttömahdollisuudet.

Vesien suojele

Vesiensuojelurakenteiden mitoituksessa olennaisena tekijänä on valuma-alue, jolta vedet kääntyvät tarkasteltavaan pisteeseen, purkukohtaan. Tämän valuma-alueen määrittämiseksi olisi tarpeen saada käyttöön nykyistä selvästi tarkempi korkeusmalli. Nykyisellä mallissa ruudun koko on 25 x 25 m ja ruudulle määritetyn korkeuden keskivirhe noin 2 m. Nykyinen korkeusmalli on liian epätarkka käytännön työkaluksi erityisesti tasaisilla alueilla.

Valuma-alueen määrittelyn lisäksi selvästi nykyistä tarkemmalla korkeusmallilla voitaisiin kartalta arvioida ennakkoon vesiensuojelurakenteille sopivia sijoituspaikkoja. Mikäli vesistöjen varrelta saataisiin tieto, siitä kuinka jyrkästi maanpinta laskee vesistöön viimeisen 50 m matkalla, niin riittävän kaltevuuden omaaville alueille olisi jo ennen maastotarkastelua suunnitella vesiensuojelurakenteita.

Riittävän tarkka korkeusmalli auttaisi myös muiden kauempana vesistöstä sijaitsevien vesiensuojelurakenteiden ja -ratkaisujen sijoittamisessa. Esimerkiksi valtaojastossa voitaisiin mallin avulla hakea sopivia paikkoja pintavalutukselle. Ilman laajoja vettymisalueita tai rakenteita.

Korkeusmallit helpottaisivat riskialueiden kartoitusta äkillisten tulvahuippujen varalle ja varautumista tulvariskiä muun muassa settipatoja sijoittamalla. Tässä vesiensuojaus voitaisiin yhdistää tulvasuojaus. Tarkennetun korkeusmallin yhdistäminen maaperätietoon parantaa eroosioherkkien alueiden paikantamista. Korkeusmallia tarvittaneen tulevaisuudessa myös arvioitaessa valuma-aluekohtaisia metsätalouden kuormitusvaikutuksia vesipuitteiden toteutuksen yhteydessä.

Metsänparannustoiminta

Metsänparannuksessa korkeusmallin hyödyntäminen liittyy olennaisesti edellä kuvattuun veiensuojeluun, mutta sen lisäksi tarkennettu korkeusmalli voisi auttaa myös kunnostusojitus- tai tiehankkeiden muutakin suunnittelua. Kunnostusojituksen suunnittelussa tarvitaan edelleenkin mitattua tietoa maaston korkeusvaihteluista. Tieto on perinteisesti saatu vaaituksilla. Kustannussäästöistä johtuen kunnostusojitushankkeilla ollaan käytännössä kuitenkin luovuttu ojalinjojen vaaitsemisesta. Vaaitustieto voitaisiin ainakin osittain korvata tarkalla korkeusmallilla. Ojitushankkeilla voi olla tarpeen säädellä veden virtausnopeutta, esimerkiksi tulvahuippujen ja eroosion pienentämiseksi. Virtausnopeuden vähentäminen onnistuu parhaiten suunnittelemalla hankkeille sopiviin kohtiin kaivukatkoja, pohjapatoja, pintavalutusta, kosteikkoja tai muita veden virtausta hidastavia elementtejä.

Metsäsuunnittelu

Alueellisessa metsäsuunnittelussa metsäalue jaetaan toimenpide- ja inventointiyksiköihin, metsikkökuvioihin. Yhtenä metsikkökuvion rajausperusteena toimii maastokorkeustieto. Ensisijaisesti metsikkökuvio pyritään rajaamaan kuitenkin maapohjaltaan ja puustoltaan homogeenisiin alueisiin siten, että seuraava metsänkäsittelytoimenpide on koko kuviolle sama. Maastokorkeus aiheuttaa metsikkökuvion rajauksen vain ääritapauksissa. Tätä tarkoitusta palvelee mahdollisimman tarkka korkeusmalli.

Maa- ja metsätalousministeriön metsäsuunnittelustrategiassa (2001-2010) asetetaan yhdeksi avaintehtäväksi seuraavan sukupolven suunnittelujärjestelmän rakentaminen. Uudella metsävaratietojärjestelmällä tulisi turvata kattavan ja hyvälaatuisen metsävaratietokannan ylläpito sekä lisätä metsäsuunnittelun vaikuttavuutta. Strategiset tavoitteet edellyttävät uudelta metsävaratiedon keruun mallilta nykyistä nopeampaa inventointikiertoa. Nopeampi inventointikierto edellyttää tehokkaiden inventointimenetelmien käyttöönottoa ja kattavasta maastoinventoinnista luopumista. Seuraavan sukupolven suunnittelujärjestelmässä alueellisen metsävaratiedon keruu ja tilakohtainen metsäsuunnittelu eriytettäisiin menetelmällisesti nykyistä selkeämmin toisistaan siten, että alueellinen metsävaratieto kerättäisiin kustannustehokkailla kaukokartoitusmenetelmillä ja suunnittelutuotteet perustuisivat maastoinventointiin/maastotarkistuksiin.

Laserkeilainaineistoa hyödyntämällä ollaan viime vuosina saavutettu läpimurto kaukokartoitusperusteisessa puustotunnusten estimoinnissa. Alueellisen metsävaratiedon keruu tulee tulevaisuudessa hyvin todennäköisesti perustumaan laserkeilainaineiston tulkintaan. Tulkinnassa on vallalla kaksi eri linjaa, jotka aiheuttavat erilaiset vaatimukset keilainaineistolle. Puustotunnusten estimointi voi perustua

- 1) yksinpuintulkintaan, tai
- 2) metsikkö-/koealakohtaiseen mallinnukseen tai ei-parametriseen estimointiin.

Yksinpuintulkinta edellyttää suurta määrää havaintoja. Metsäsuunnittelusovelluksissa pyritään kuitenkin kustannustehokkaimpaan ratkaisuun, jolla voidaan saavuttaa riittävän luotettavia tuloksia päätöksenteon tueksi. Laserkeilainaineiston hinta on sitä alhaisempi, mitä korkeammalla pystytään aineiston keräämisvaiheessa lentämään. Nykyisillä instrumenteilla maksimilentokorkeus on n. 2000 metriä, jolloin aineistossa on havaintoja keskimäärin n. 0,5 havaintoa/m². Suurilla yhtenäisillä inventointialueilla päästään tällöin aineiston hinnassa alle 1 €/ha.

Harvapulssista laseraineistosta on puustotunnuksia estimoitu regressiomallinnuksella, joka tuottaa puuston keskitunnuksille suorat estimaatit perustuen laserkeilain-aineistoon. Regressiomallit tuotetaan koeala-aineistosta ja niissä useimmiten käytetyt selittävät muuttujat ovat laseraineiston havaintojen korkeuskvantiilit. Tämä tarkoittaa havaintojen suhteellista osuutta koealalla eri korkeusluokissa. Tehdyissä testeissä tällä menetelmällä on saatu vähintään yhtä luotettavia tuloksia metsikön kokonaispuustolle kuin yksinpuintulkintaan perustuen ja luotettavampia tuloksia kuin esimerkiksi tällä hetkellä käytössä olevalla Solmu-maastoinventointimallilla. Regressiomallit ovat varsin robusteja ja alueellisten mallien laadinnan jälkeen maastoinventoinnin tarve tässä menetelmässä on varsin vähäinen.

Vaihtoehtoisesti harvapulssista laserkeilainaineistoa voidaan tulkita ei-parametrisin menetelmin. Tällöin laseraineistosta lasketut koealakohtaiset tunnusluvut toimivat hakuperusteina knn-estimoinnissa ja puustotunnukset lasketaan haettujen koealojen empiirisistä runkolukusarjoista. Puustotunnukset voidaan estimoida koealan pinta-alaa vastaaville grideille tai esimerkiksi ilma-kuvalta segmentoiduille ns. mikrokuvioille.

Menetelmä on testattu tilavuuden suhteen ja sen antamat tulokset ovat olleet sekä koeala- että metsikkötasolla vielä huomattavasti regressiomallinnustekniikkaa parempia.

Metsäsuunnittelu voi hyödyntää valtakunnallisen korkeusmallin muodostamiseksi (ja päivittämiseksi) kerättyä aineistoa, jos se perustuu laserkeilainaineistoon. Aineiston hankinnassa on siten saavutettavissa kustannussäästöjä. Puustotunnusten estimointimenetelmät eivät kuitenkaan käytä suoraan korkeusmallia.

3.4 Metsäntutkimuslaitos

Korkeusmallien käyttö valtakunnan metsien inventoinnissa

Metsäntutkimuslaitos (Metla) on maa- ja metsätalousministeriön alainen tutkimuslaitos. Metlan tehtävänä on edistää tutkimuksen keinoin metsien taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävää hoitoa ja käyttöä tuottamalla tieteellistä tietoa metsäympäristöstä, metsien eri käyttömuodoista sekä metsä- ja puutaloudesta palvelemalla tiedon tarvitsijoita ja toimimalla asiantuntijana metsiin liittyvissä tilasto-, seuranta- ja tarkastustehtävissä vastaamalla metsänjalostustoiminnasta ja siihen liittyvästä tutkimuksesta huolehtimalla sille määrätyistä viranomaistehtävistä hoitamalla hallinnassaan olevia tutkimus- ja luonnonsuojelualueita julkaisemalla tutkimustuloksia ja tiedottamalla ajankohtaisista metsiin ja metsäntutkimukseen liittyvistä asioista.

Metlan viranomaistehtävistä valtakunnan metsien inventointi (VMI) palvelee suoraan metsäteollisuuden investointipäätöksiä ja puunhankinnan suunnittelua sekä lisäksi ministeriöiden ja metsäkeskusten metsätalouden suunnittelua. Metsäteollisuuden liikevaihto on noin 20 miljardia euroa ja teollisuuden vientitulot ovat runsas 30 % koko maan nettovientituloista (2004).

Kaukokartoitustietoa ja paikkatietoa käytetään Metlassa eri tutkimusaloilla mutta koko maan kattavasti Valtakunnan metsien inventoinnissa. VMI:ssä alettiin vuonna 1989 kehittää uutta ns. monilähdeinventointia, jossa maastomittausten ohella käytettäisiin satelliittikuvia ja numeerisia karttoja. Monilähdeinventointi on ollut operatiivisessa käytössä vuodesta 1990 lähtien ja koko maan peittävää metsävaratietoa tilastoina ja numeerisina teemakarttoina on tuotettu 2.5 kertaa.

Korkeusmallia on käytetty monilähdeinventoinnissa korjaamaan maaston kaltevuusvaihtelun aiheuttamaa intensiteettivaihtelua satelliittikuvan sävyarvoissa ja saamaan kuvanalkioiden intensiteetit vertailukelpoisiksi koko kuvan alueella. Maanpinnan kaltevuus ja rinteiden suunta vaikuttavat valaistusoloihin sekä maasta ja kasvillisuudesta heijastuvaan säteilyyn. Korkeusmallista johdetaan maanpinnan normaalin ja auringon säteilyn tulokulman välinen kulma, jota käytetään sävyarvojen korjaukseen. Käytössä on ollut Maanmittauslaitoksen tuottama korkeusmalli (kuvanalkiokokona 25 m x 25 m). Operatiivisessa työssä korkeusmallissa on havaittu virheitä ja epäloogisia arvoja, jotka ovat heijastuneet myös intensiteettikorjausta varten laskettuun maanpinnan normaalin ja auringon suuntakulman väliseen kulmaan. Yksinkertaisimmillaan korjaus on noudattanut Lambertin kosinilaista johdettua muunnettua lakia. Lisäksi korkeusmallia on käytetty rajaamaan estimoinnissa käytettävää opetusjoukkoa (VMI-koealoja) vertikaalisuunnassa esimerkiksi 50-150 m:n korkeusvälille.

Korkeusmallin käyttöä on testattu myös satelliittikuvien orto-oikaisussa ja ilmakehäkorjausten tekemisessä kuvan intensiteeteille. Yksittäisissä tutkimushankkeissa korkeusmallia on käytetty ilmakuvien orto-oikaisuun.

Korkeustieto on ositustietona myös VMI:n tuloslaskennassa, kun laskenta perustuu pelkkiin maastotietoihin. Maaston korkeus vaikuttaa kasvukauden kertyvään lämpösummaan ja sitä

kautta puuston kasvuun ja on yksi ositustekijä esimerkiksi puuston vuotuisen kasvun laskennassa. Maaston pienenisvaihtelua kuvaavia tunnuksia, mm. Valuma-alueet, on testattu metsikön pituusboniteetin ennustamiseen sekä Pohjanlahden rannikon metsien mallintamiseen. Metsätuhojen esiintymistä on tutkittu suhteessa maaston korkeuteen.

Korkeusmalli on yksi tärkeä tietolähde mallinnettaessa kulkukelpoisuutta maastossa, esimerkiksi puutavaran lähikuljetuksessa tai simuloitaessa VMI:n systemaattisen otoksen kustannuksia. Korkeusmalli on ollut aineistoelementtinä myös populaatiotutkimuksen alueella yhdessä monilähdeinventoinnin aineistojen kanssa sekä metsien maisemarakennetta (Landscape) analysoivissa tutkimuksissa.

Korkeuden ja sijainnin tarkkuusvaatimus uudelle korkeusaineistolle riippuu siitä, minkälaista kaukokartoitusmateriaalia tullaan käyttämään tulevissa inventoinneissa. Nykyisillä Landsat ETM+ tyyppisillä kuvilla korkeusmallin VMI:n käsitys tarkkuusvaatimuudesta olisi seuraava:

Alueellinen erotuskyky: Kaukokartoitussatelliittien tuottaman aineiston resoluution pienentyessä korkeusmallin resoluutiolle ja tarkkuudelle asetetaan lisää vaatimuksia. Myös metsikkökuvion sisäisen maastonvaihtelun ja kulkukelpoisuuden selvittämiseen 25 x 25 m resoluutio on liian karkea. Etelä-Suomessa maaston korkeusvaihtelu on pienipiirteisempää, joten myös resoluutiolla tarkkuudellekin olisi tiukemmat vaatimukset. Pohjois-Suomessa korkeusvaihtelut ovat tyypillisesti 'pitkiä ja loivia'. Tosin siellä aurinko paistaa matalammalta ja maaston muodot siksi muuttavat herkemmin satelliittikuvien intensiteettejä. Ottamatta huomioon yhteensopivuutta tulevien satelliittikuvien kuvanalkioiden kokojen kanssa, voisi Etelä-Suomen korkeusvaihtelujen kuvaukseen olettaa tarvittavan 10, jopa 5 metrin, ja Pohjois-Suomeen 20-25 m:n alueellista erotuskykyä.

Korkeuden tarkkuusvaatimus: Absoluuttinen tarkkuusvaatimus ei VMI:ssa ole suuri. Tärkeää on sen sijaan se, että korkeusarvot naapurikuvanalkioiden kesken ovat kohdallaan, esimerkiksi keskivirhe ei yli 0.5 m.

Korkeusmallin käytön toistuvuus VMI:ssa: VMI10 maastomittauksia tehdään joko vuosi koko maassa mittaamalla yksi viidesosa koko koealaverkon koealoista. Päätulokset lasketaan vuosittain ja täydelliset tulokset viiden vuoden välein. Monilähdeinventoinnin tulokset lasketaan joka toinen vuosi Lappia lukuun ottamatta, missä tulokset lasketaan joka neljäs vuosi.

Laserkeilaindatan käyttö VMI:ssa

VMI:ssa siirrytään ainakin testaamaan laserkeilain -tekniikkaa lähiaikoina. Alkuvaiheessa mahdollista operatiivista tekniikkaa käytettäisiin todennäköisesti maastokoealojen muutosten estimointiin ja lisähavaintojen tuottamiseen monilähdeinventointiin, mahdollisesti myös maastointointiin. Mahdollisesti 10 vuoden kuluttua tekniikan edelleen kehittyttyä, voitaneen harkita koko maan kattavaa täyspeittoa sopivin aikavälein. Siten mahdollinen koko maan kattava laserkeilainaineisto lähiaikoina olisi erinomainen koeaineisto ja palvelisi jonkin aikaa myös VMI:n operatiivista toimintaa.

3.5 Maataloushallinto

Maataloushallinnossa korkeusmalleja käytetään lähinnä valvontatehtävissä käytettävien ortoilmakuvien tuottamisessa ja osittain myös pintavesien käyttäytymisen mallintamisessa. Näissä tehtävissä nykyistä paremman korkeusmallin avulla voitaisiin tuottaa sijaintitarkkuudeltaan homogeenisempia ja parempia ortoilmakuvia. Lisäksi nykyistä tarkempaa aineistoa voitaisiin käyttää esimerkiksi peltolohkojen rajojen ja pientareiden tunnistamisessa.

3.6 Tiehallinto

Tienpito

Tienpito voidaan karkeasti jakaa suunnitteluun, rakentamiseen ja kunnossapitoon. Korkeusmallin käyttökelpoisuus tienpidossa on suoraan riippuvainen mallin virhemarginaaleista.

Tiensuunnittelun tarkkuustasoina ovat erilaiset esiselvitykset, yleissuunnittelu sekä tiesuunnitelman ja rakennussuunnitelman laatiminen. Kunnossapidon kannalta tärkeitä tietoja ovat pohjaveden ja pintaveden tasot, joilla on merkittävä vaikutus tien rungon kuivatukseen.

Tiensuunnittelu

Esiselvitysvaiheessa ei yleensä tarvita minkään tasoista maastomallia. Pienimittakaavaiset kartat ovat riittäviä esiselvitysten tarpeisiin.

Tien yleissuunnittelu jaetaan kolmeen perustyyppiin; lakisääteisten yleissuunnitelmien laatimiseen, erilaisiin toimenpidesuunnitelmiin ja aluevaraussuunnitelmiin.

Yleissuunnitelman tarkkuus riippuu oleellisesti ympäröivästä maankäytöstä. Vapaassa maastossa, jossa tien linjaus voi vielä muuttua muutamia kymmeniä metrejä tarkemmassa suunnitelmavaiheessa, käytettävän korkeusmallin tarkkuustaso voi olla noin +/- 1,0 metri. Taajama-alueilla yleissuunnitelmassa käytettävän korkeusmallin tarkkuuden tulisi olla huomattavasti parempi, noin +/- 0,5 metriä. Asemakaava-alueella tarvitaan jo tarkka maastomalli.

Toimenpidesuunnitelmassa tarkastellaan yleensä olemassa olevalle tiejaksolle tarpeellisia toimenpiteitä. Toimenpiteistä riippuen tarvitaan korkeusmallia vaihtelevasti. Toimenpidesuunnitelmassa tarvittavan korkeusmallin vaatimukset ovat samat kuin yleissuunnitelmaa laadittaessa kuitenkin siten, että mallin tarkkuuden tulisi olla +/- 0,3 metrin luokkaa nykyisen tierakenteen kohdalla asemakaava-alueiden ulkopuolella.

Aluevaraussuunnitelmat palvelevat yleis- ja asemakaavoituksen tarpeita. Yleiskaavoituksen aluevaraussuunnitelman korkeusmallin tarkkuuden tulisi olla +/- 0,5 metriä. Asemakaavoituksen aluevaraussuunnitelma vaatii normaalin tarkan maastomallin.

Tie- ja rakennussuunnitelmien laatimista varten tarvitaan tarkat maastomallit.

Kokeiluja Tiehallinnossa

Vuosina 2002 - 2005 on Savo-Karjalan tiepiirissä kokeiltu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan käyttöä viidessä kohteessa. Kokeilukohteet olivat paikallistieluokkaisia teitä, joille suunniteltiin kevyitä parantamistoimenpiteitä (yhteensä noin 23 km). Lisäksi kaikki tiet olivat ns. "rajaamattomia", eli niille ei ole aikaisemmin määritetty tiealueen rajoja.

Kokeilun tavoite oli selvittää maastotietokannan käyttökelpoisuutta sellaisiin tiehankkeisiin, joissa määritetään tiealueen lisätarpeet tien kevyttä perusparantamista tai tulevaa kuivatuksen parantamista tai rajaamistoimituksia varten.

Maastotietokantaa irrotettiin noin 100 metriä tien molemmin puolin. Tien vaaka- ja pystygeometria mitattiin GPS -autolla. Digitaalisesta ilmakuvasta stereotyönä kokeiluna mitatun aineiston korkeustarkkuus oli noin 0,5 m, joka ei ole riittävä tiensuunnitteluun parantamishankkeissa.

Kokeilun johtopäätöksinä todettiin mm. seuraavaa: "Lähtöaineiston saaminen Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta on halpaa, mutta suunnittelutyö on kallista verrattuna suunnitelman käyttötarkoitukseen. Tulevan ojituksen suunnitteluun ei mallin korkeustarkkuus ole riittävä, vaan ojitus joudutaan suunnittelemaan maastovaaitusten perusteella".

Toisena käyttökohteena on ollut meluselvitysten tekeminen Turku - Helsinki moottoritien suunnittelualueella. Tien kohdalla ollutta maastomallia on täydennetty maanmittauslaitoksen maastotietokannan mallilla. Melun leviämistä on siten voitu tarkastella varsin laajan korkeusmallin alueelle.

Korkeusmalliin kohdistuvia tulevaisuuden tarpeita

Tiensuunnittelussa tarvittavan korkeusmallin tarkkuus määrää samalla mallin käyttökelpoisuuden eri tarkoituksiin. Lähtöaineiston luotettavuudella on tärkeä merkitys, joten aineiston hyvälle dokumentoinnille on annettava suuri painoarvo.

Korkeusmallien esitystavoista tienpidon tarpeisiin olisi sopivin hybridimalli, jossa vapailla alueilla malli voi olla epätarkempi kuin rakennetussa ympäristössä. Tärkeää olisi pystyä kuvaamaan nykyisellä tiealueella, noin 20 metriä tien molemmiin puolin, oleva tien rakenteen ja maanpinnan muoto niin tarkasti kuin mahdollista. Muilla alueilla korkeusmallin tarkentaminen voitaisiin kytkeä kaavoitusprosessiin.

Valtakunnallinen korkeusmalli antaisi nykyistä paremmat edellytykset meluselvitysten tekemiseen sekä olemassa olevalle tieverkolle että suunniteltavien väylien vaikutuksia arvioitaessa.

Kunnossapidon kannalta tien rungon kuivatuksen järjestäminen on oleellinen asia roudan torjunnassa ja tien kantavuuden varmistamisessa. Korkeusmallista ei ole varsinaisesti apua pohjavesiongelmiin ratkaisuun ilman maaperämallia, mutta korkeusmallia voitaisiin käyttää hyväksi alavien maiden tulvaongelmien ratkaisemisessa.

Olemassa olevan tieverkon geometriatiedot on koottu DIGIROAD-projektissa kaikilta teiltä Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta. Tiedot sisältävät vain tien keskilinjan vaakaja pystygeometriatietoja. Käytäntö on osoittanut, että suunnittelutyössä tarvittaisiin tarkempia geometriatietoja. Laserkeilaus antaisi Tiehallinnolle aivan uudenlaisen lähtökohdan koko tieverkkoon kohdistuvien toimenpiteiden suunnitteluun ja olemassa olevan tieverkon hallintaan. Jos laserkeilauksen tarkkuus pysyisi tiealueilla +/- 0,1 metrin tasolla, tieverkosta saataisiin yleisesti riittävän tarkka pintamalli tien leveyksineen, sivuojineen ja luiskineen.

Yhteistyömahdollisuuksia ja tarpeita

Tiehallinnolla on tiivistä yhteistyötä muiden viranomaisten ja kuntien kanssa.

Yhteistyö maanmittauslaitoksen kanssa on jatkuvaa ja tiivistä. Maanmittauslaitos järjestää kaikki yleistietoimitukset Tiehallinnon hakemina. Niissä tapahtuvat tarvittavat tiealueiden määrittelyt ja alueiden lunastamiset. Kohteissa, joissa tarvitaan absoluuttisia korkeuslukuja, tarvitaan käytännössä maastomalli. Näitä kohteita ovat kaikki rakentamishankkeet, lukuun ottamatta pieniä liikenneturvallisuuskohteita, linja-autopysäkkejä sekä rumpujen ja pienten siltojen uusimisia.

Korkeusmallin käyttö voisi soveltua nykyisen tien rajaamistoimituksiin, joissa tarvitaan lisätiealuetta tien pienimuotoista parantamista varten. Tällöin on tärkeämpää tien ja maaston suhteellinen korkeusero ja vaakakoordinaattien tarkkuus kuin todellinen korkeus. Tien rakenteen tulisi olla hyvin erotettavissa ympäröivästä maastosta.

Yhteistyö ympäristökeskusten kanssa toisi pitkällä aikavälillä varmasti hyötyjä tulvien laajuuden ja tierungon vettymisen ennustamisen ja kuivatusratkaisujen yhteensovittamisen ympäröivän maankuivatuksen kanssa varsinkin maankohoamisalueilla ja muilla alavilla mailla.

Kaupunkien ja kuntien alueilta olisi käytettävissä maastomallitasoista aineistoa, jos ne voitaisiin kerätä keskitetysti yhteen paikkaan. Kuntien alueella tapahtuvaa tien eriasteista suunnittelua voitaisiin tehdä ilman hankekohtaista maastomallimittauksia tai mittaukset voitaisiin kohdistaa vain tarvittaville alueille.

3.7 Puolustusvoimat

Puolustusvoimissa valtakunnallista korkeusmallia käytetään sekä kuva- ja kartantuotannossa että erilaisiin maaston analysointi- ja visualisointitehtäviin.

Kuvatotuotannossa korkeusmallia käytetään ortokuvien tuottamiseen. Karttatuotannossa korkeusmallin käyttö on vähäistä.

Maaston analysointi- ja visualisointitehtävistä mainittakoon:

Näkemäanalyysit
 Kaltevuusanalyysit mm kulkukelpoisuuden kannalta
 Viestijärjestelmien käyttöön liittyvät analyysit
 Maaston visualisointi simulaattoreissa

Nykyisen korkeusmallin puutteet tulevat esille lähinnä eräissä analysointi-tehtävissä. Esimerkiksi kaltevuusanalyysi ei ole mielekäs 25 m ruutukooalla. Näkemäanalyysissa huippupisteiden puuttuminen johtaa epäluotettaviin tuloksiin.

Uudessa korkeusmallissa sopiva ruutukoko olisi 10 x 10 m. Lisäksi mallissa mukana pitäisi olla maaston oleellimmat taiteviivat ja huippupisteet. Mallin korkeustarkkuuden pitää myös vastata pienempää ruutukokoa, ja mallista on oltava saatavissa laatu- ja metatieto.

Puolustusvoimien kannalta eduksi olisi, että korkeusmalli olisi saatavissa hajapisteistönä (havaintopisteet), josta erikseen tarpeen mukaan luodaan kolmio-, ruutu- tai jokin muu malli.

Puolustusvoimien kannalta muutamia ajatuksia korkeusmallista:

1. Tärkeintä valtakunnallisessa korkeusmallissa on se, että malli todella on valtakunnallinen. Tämä siis tarkoittaa, että koko maasta - ja mieluummin jonkin verran rajojen ulkopuolelta - pitäisi kohtuullisessa ajassa syntyä riittävän hyvä korkeusmalli.
2. Mallin absoluuttinen korkeustarkkuus ei ole ensisijainen tekijä. Puolustusvoimien sovellusten kannalta ei ole suurtakaan merkitystä, onko mittausmenetelmän tarkkuus 0.3 vai 0.6 m. Tärkeintä on, että malliin tulevat mukaan maaston huippu- ja notkokohdat sekä taiteviivat, niin että maaston muodot ovat nykyistä paremmin kuvattuja.
3. Puolustusvoimien kannalta maan eri alueet ovat korkeusmallilta vaadittava tarkkuuden kannalta samanarvoisia, toisin sanoen emme halua rajata alueita joilta riittäisi huonompikin malli. Taajama-alueiden osalta on erityistarpeita, mutta silloin käytännössä tarvitaan kaupunkialueen 3D-malli; pelkkä maanpinnan korkeusmalli ei riitä.
4. Jos päädytään siihen, että tietyiltä alueilta (taajamat, tielinjat) on tarjolla tarkempaa tietoa, on kuitenkin tärkeää, että jakelutuotteena on saatavissa korkeusmalli, jonka ruutukoko on koko maan alueelta sama. Optiona tietenkin voi olla tarjolla alueittain tiheämpi malli TIN-malli ja hajapisteistö.
5. Ei liene mahdollista kiinnittää kovin paljon huomiota kaupunkien ja kuntien tarpeisiin. Realisimia lienee, että valtakunnallinen korkeusmalli ei voi täyttää kaupunkien tarkkuusvaatimuksia. Toisinpäin sanottuna, ei liene taloudellisesti perusteltua tuottaa niin tarkkaa valtakunnallista korkeusmallia, että se täyttää kaupunkien vaatimukset.
6. Korkeusmallin käyttöön pohjautuvan toiminnan volyyminä ei pysty antamaan arvioita. Malli on käytössä eri sovelluksissa. Taloudellista tuottoa korkeusmallin käytöstä ei synny.

3.8 Suomen ympäristökeskus ja alueelliset ympäristökeskukset

Suomen ympäristökeskus (SYKE) on tutkimus- ja asiantuntijalaitos, joka tutkii ympäristön muutoksiin liittyviä ilmiöitä ja kehittää ratkaisuja muutosten hallintaan sekä tarjoaa monipuolisia asiantuntijapalveluja pääasiassa eri hallinnon alojen, teollisuuden, kuntien, yritysten ja yhteisöjen käyttöön. SYKE toimii ympäristöalan kansallisena ja kansainvälisenä tietokeskuksena, jonka tietojärjestelmiin tallennettua tietoa käytetään mm. ympäristön seurantaan, mallilaskelmiin, ennusteisiin ja arviointeihin.

Alueelliset ympäristökeskukset huolehtivat toimialueellaan ympäristönsuojelusta, alueiden käytöstä ja rakentamisen ohjauksesta, luonnonsuojelusta ja kulttuuriympäristön hoidosta sekä vesivarojen käytöstä ja hoidosta. Sekä SYKE että alueelliset ympäristökeskukset kuuluvat ympäristöministeriön hallinnonalaan.

Korkeusmallin käyttö ja siihen kohdistuvat tarpeet SYKE:ssä

Geoinformatiikka on keskeisessä osassa ympäristötiedon käsittelyssä ja hallinnassa; seurannassa ja tutkimuksessa. SYKE ylläpitää ympäristöhallinnon hankkimia ja tuottamia paikkatietoaineistoja sekä kehittää paikkatietoaineistoja, -tekniikoita ja -järjestelmiä sekä kaukokartoitusmenetelmiä, joiden avulla luontoa ja rakennettua ympäristöä voidaan tutkia ja analysoida monipuolisesti. Eräs käytetyimpiä perusaineistoja on Maanmittauslaitoksen laatima valtakunnallinen korkeusmalli, jota SYKE on hyödyntänyt tehtävissään varsin monipuolisesti.

Ympäristöhallinnon keskeisimpiä tehtäviä on mm. vastata vesivarojen käytöstä ja hoidosta sekä tulvasuojelun ja -torjuntaan liittyvistä asiantuntija-, viranomais- ja kehittämistehtävistä. SYKE:ä ja alueellisia ympäristökeskuksia ohjaa näissä tehtävissä maa- ja metsätalousministeriö. SYKE:ssä kehitetään mm. tulvakartoitusmenetelmiä. Alueelliset ympäristökeskukset vastaavat tulvariskikohteille tehtävien tulvavaarakarttojen laadinnasta. Karttoja käytetään apuna maankäytön ja pelastustoiminnan suunnittelussa, riskikartoituksien laatimisessa ja tiedottamisessa. Tarvittavat tulvasuojelu- ja torjuntatoimet suunnitellaan tulvavaarakarttojen tarjoaman tiedon pohjalta, joten lähtötietojen tarkkuus ja luotettavuus ovat etenkin alavilla mailla erityisen merkityksellisiä. Mitä tarkempia lähtötietoina käytetyt korkeustiedot ovat, sitä luotettavampia tulvaennusteita ja riskikartoituksia voidaan laatia. Korkeusmallia käytetään myös erityisen paljon valuma-alueiden ja virtausreittien mallinnuksessa, vesistömallijärjestelmän vesistö- ja tulvaennusteiden mallinnuksessa sekä eroosio- ja ravinnehuuhtoutumismallinnuksessa.

Kaukokartoituksessa korkeusmallia käytetään etenkin satelliittikuvien topografiakorjauksiin ja orto-oikaisuun, joissa vaaditaan korkeusmallilta erityisen suurta tarkkuutta. Korkeusmalli toimii apuna myös luonto- ja maankäyttötyyppien tulkinnessa ja paikantamisessa (mm. tunturiluokkien, vesien ja soiden tulkinta sekä esimerkiksi rannesoiden ja harju- ja kallioympäristöjen paahderinteiden paikantaminen). Lisäksi korkeusmallia käytetään myös tausta-aineistona esimerkiksi vinovalovarjosteina visualisointiin ja kohteiden rajaamiseen.

Käytettäessä monipuolisesti korkeusmallia SYKE:ssä on huomattu useita puutteita nykyisessä valtakunnallisessa korkeusmallissa. Mallin korkeustiedoissa on myös havaittu useita tarkkuus- ja luotettavuusongelmia, joista osa johtuu lähtöaineiston puutteellisuudesta ja osa valmistustekniikan ongelmista. Tästä johtuen mallissa esiintyy myös alueellisia eroja (vrt. keskivirhe), jotka haittaavat mallin valtakunnallista käyttöä. Lisäksi ihmisen toiminnan aiheuttamista muutoksista johtuvat korkeusmallin ajantasaisuusongelmat ovat oma luku sinänsä. SYKE on omaa käyttöään varten korjannut selkeimpiä nykyisen korkeusmallin virheitä kuten virheellisiä 0-arvoja (0-pikselialueita, 0-pikselikaistoja pp-ruutujen reunoissa), virheellisiä painaumuksia (jopa yli 200 m syviä kuoppia/kanjoneita), ylikorkeita korkeusarvoja (jopa yli 6 km:n korkuisia tolppia) sekä tasoittanut järvien vesipinnat.

Valtakunnallisesti kattava korkeusmalli tarvitaan ehdottomasti jatkossakin, mutta nykyisessä korkeusmallissa esiintyvät korkeustiedon tarkkuus- ja luotettavuusongelmat sekä selkeät virheet on poistettava. Mallin laatu on saatava nykyistä merkittävästi paremmaksi, sillä mallin tarkkuus ja 25 metrin resoluutio on aivan liian karkea mm. tulvamallinnukseen ja satelliittikuvien topogra-

fiakorjaukseen. Myös eroosio- ja ravinnehuuhtoutumis- sekä virtaus- ja valuma-aluemallinnus vaatisivat lähes yhtä tarkkaa korkeusmallia kuin yleispiirteiset tulvavaarakartoitukset. Useimpiin muihin käyttötarkoituksiin SYKE:ssä mallin resoluutioksi riittäisi todennäköisesti vähintään 10 x10 m tai mieluummin 5x5 m, mutta mitä tarkempi sitä parempi. Korkeusmallissa esiintyvät järvien vesipinnat olisi tasoitettava. Erityisen tärkeää on myös korkeusmallin ja järvien syvyystietojen yhteiskäyttömahdollisuuksien varmistaminen. Korkeusmallin käyttömahdollisuudet helpottuisivat myös mikäli se ulottuisi hieman pidemmälle Suomen valtakunnanrajojen ulkopuolelle sekä ainakin rantavesiin (syvyyskäyrät). Myös tarkkoja metatietoja korkeusmallin valmistusprosessista kaivataan kuten esimerkiksi alueittaisia tietoja korkeusmallin valmistumisajankohdasta, -tekniikasta ja tarkkuudesta.

Korkeusmallin lisäksi myös valtakunnalliset ja paikalliset syvyysaineistot – niin sisävesistä kuin myös merialueilta – ovat ympäristöhallinnon kannalta tärkeitä. Niitä voidaan hyödyntää sekä abioottisten tekijöiden että ekosysteemien mallinnuksessa ja tutkimuksessa. Kaikissa merialueen tietokonemalleissa (etenkin hydrodynaamisessa mallinnuksessa, mm. virtausmallit, öljypäästö-mallinnus) tarvitaan digitaalista syvyysaineistoa. Mitä tarkempaa ja kattavampaa on syvyystieto, sitä tarkempia ovat myös mallit. Näissä sovelluksissa syvyystietojen puute tai vähäisyys on jatkuvasti ollut haittatekijänä. Erityisen tärkeitä merialueiden ja sisävesien tarkat syvyystiedot ovat vesipuitedirektiivin tyypittelyn tarkentamisen ja vesipuitedirektiivin vaatimien seurantaohjelmien suunnittelun kannalta. Rannikkovesien syvyysaineistoa (esimerkiksi tietoa eri rannikkoalueiden keskisyvyydestä ja syvyys-tilavuuskäyrästä) tarvitaan maalta tulevan kuormituksen vesistövaikutusten arvioimiseen ja vesien hydrodynamiikan ymmärtämiseen. Lisäksi em. aineisto on hyödyllistä tutkimuskohteiden visuaaliseen kuvaamiseen tieteellisissä julkaisuissa ja raporteissa.

Tulvavaarakartoituksen kehitystarpeet korkeusmallille

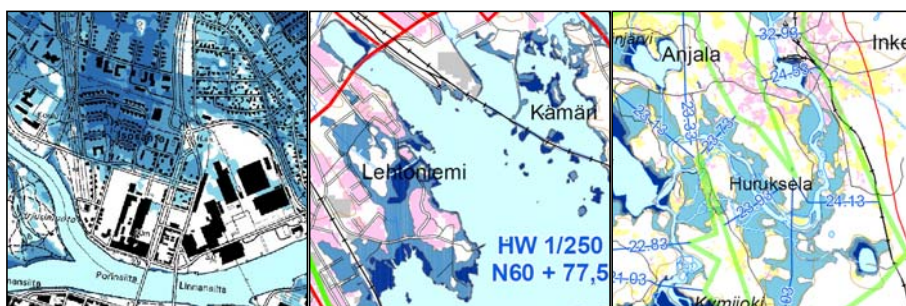
Tehokkaan tulvariskien hallinnan perustana oleva tulvavaarakartoitus on täysin riippuvaista korkeusmallista. Tulvavaarakartassa kuvataan tulvan peittävyys ja vaaran aste, yleensä vesisyvyys, karttapohjalla tietyllä todennäköisyydellä. Tulvavaarakartoitusta voidaan käyttää apuna tulvariskienhallintasuunnitelmien laatimisessa, tulvavahinkojen torjunnassa, maankäytön suunnittelussa, tiedotuksessa, pelastustoiminnassa ja alimpien rakentamiskorkeuksien määrittämisessä. Tuore direktiiviehdotus (http://europa.eu.int/comm/environment/water/flood_risk/) velvoittaisi jäsenmaat laatimaan tulvavaarakartoja vesistöille ja rannikkoalueille, joilla tulvariski on merkittävä. Kartoituksen tulisi olla valmiina 22.12.2013. Tulvakartoja tulisi direktiiviehdotuksen mukaan päivittää 6 vuoden välein.

Erityisen merkittävillä tulvariskialueilla tarvitaan tarkkaan TIN-muotoiseen korkeusmalliin pohjautuvia **yksityiskohtaisia tulvavaarakartoja**, jotka esitetään yleensä mittakaavassa 1:20 000. (Sane ym. 2006). Korkeusmallin korkeustarkkuuden keskivirhe saa olla enintään 0,3 m. Yksityiskohtaisia tulvavaarakartoituksia varten tilataan nykyisin kohdekohtaisesti tarkka korkeusmalli. Korkeusmallin tuottamisessa voidaan hyödyntää myös kuntien kaavoituksen pohjakartoja (kantakartoja). Alueelliset ympäristökeskukset ovat tehneet erityisen merkittävistä tulvariskialueista selvitykset suurtulvaselvitykseen (Ollila ym. 2000) ja suurtulvatyöryhmän loppuraporttiin (Timonen ym. 2003). Merkittäviä tulvariskialueita listattiin loppuraporttiin yhteensä n. 60, joista n. 40 on suppeita alueita (esimerkiksi taajamia tai teollisuuslaitoksia) ja n. 20 laajempia alueita (esimerkiksi järviä tai jokivarsia) (http://www.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2003/tr2003_6.pdf). Yksityiskohtaisia tulvavaarakartoituskohteita ovat lähinnä taajamat (asemakaavoitetut alueet), mutta myös P-patojen lähialueet (padot jotka aiheuttavat ilmeisen riskin ihmiselle, ympäristölle tai omaisuudelle). *Taajama-alueilta tarvittaisiin tarkka TIN-muotoinen korkeusmalli (sis. mm. teiden taiteviivat), korkeuskeskivirhe max. +/-20 cm (2. prioriteetti).* Taajamissa on pystyttävä mallintamaan myös rankkasadetulvia. Taajama-aluetta (asemakaavoitettua aluetta) on Suomessa n. 4000 km² (n. 1000 kohdetta). Edelleen korkeammalle prioriteetille voidaan nostaa taajamat vesistöjen rannoilla, jotka sijaitsevat alempana kuin korkeustasolla keskivedenkorkeus + n. 10 m.

Yleispiirteinen tulvavaarakartoitus laaditaan alueille, joita pidetään merkittävänä, mutta ei erityisen merkittävänä tulvariskialueina. Suurimittakaavaisessa yleispiirteisessä tulvavaarakartoi-

tuksessa (1:50 000 tai 1:100 000) käytetään ensisijaisesti olemassa olevaa, edullisesti käyttöön saatavaa korkeusaineistoa, esimerkiksi kuntien kaavakarttoja (kantakarttoja). Niiden valmisteleminen käyttökelpoiseen muotoon on yleensä työlästä. Mittakaavassa 1:100 000 voidaan käyttää myös suoraan Maanmittauslaitoksen maastotietokannan korkeuskäyräaineistoa tai tulevaisuudessa MML:n rasterimuotoista 10 m korkeusmallia. 1:50 000-mittakaavassa korkeustarkkuuden suositus on +/- 0,5 m ja 1:100 000-mittakaavassa +/- 1,0 m. *Yleispiirteisten tulvavaarakartoitusten laatimista varten tarvittaisiin nykyisiä korkeusmalleja tarkempi korkeusmalli erityisesti vesistöjen rannoilta eli alueilta, jotka sijaitsevat alempana kuin keskivedenkorkeus + n. 10 m, GRID-malli, jonka resoluutio on 2,5 m ja korkeustarkkuus +/- 50 cm (vrt. Ruotsin suunnitelma) (1. prioriteetti).* Pienemmissä mittakaavoissa 1:250 000 tai 1:500 000 esitetyissä yleispiirteisissä tulvavaarakartoissa voidaan käyttää suoraan, ilman tarkkuuden testausta, Maanmittauslaitoksen 25 m korkeusmallia. Kartoista nähdään tällöin karkeasti, missä tulvia esiintyy.

Vuosittain jokainen ympäristökeskus (13 kpl) laatii 1-2 yleispiirteistä tai yksityiskohtaista tulvavaarakarttaa. Yhden tulvavaarakartoituksen laatiminen vie työaikaa 1...5 kuukautta. Tavoitteena on laatia seuraavan parin vuoden aikana tulvavaarakartat tiedossa oleville tulvariskikohteille (noin 60 kohdetta). Kartoitustyötä jatketaan kuitenkin myös tämän jälkeen muilla alueilla, joilla voi olla merkittävä tulvariski. Tulvavaarakarttojen jälkeen tehdään alueille tarkemmat tulvahinkojen arvioinnit ja riskikartat, mitkä osaltaan voivat vaatia kartoituksen tarkentamista.



kohde	Pori	Varkaus	Kymijoki
alue	erityisen merkittävä tulvahinkoalue	merkittävä tulvahinkoalue	"missä tulvia esiintyy?", tulvavesien pidättäminen
tulvavaarakarttatyyppi	yksityiskohtainen tulvavaarakartta	yleispiirteinen tulvavaarakartta	
esitysmittakaava	1:20 000	1:50 000	1: 250 000
taustakartta	peruskartta	yleistetty: ei rakennuksia, erottuu tulvatilanne tiestöllä	hyvin yleistetty: ei rakennuksia, vain suurimmat tiet
sijainnin tarkkuus kartalla	5...20 m	10...50 m	50...250 m
korkeusmallin korkeustarkkuus	± 0,3 m (TIN)	± 0,5 m (TIN)	± 1,8 m (MML:n 25 m korkeusmalli, GRID) (*)

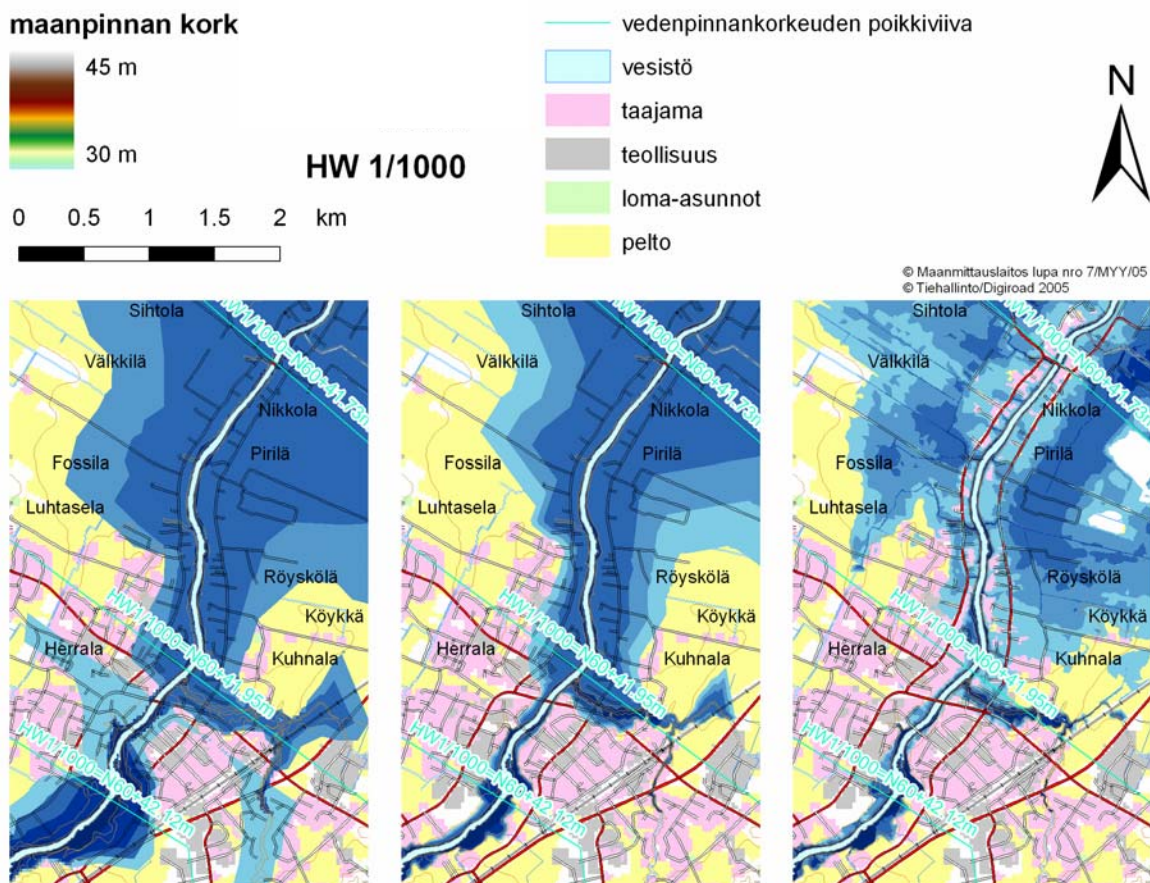
(*) uuden MML:n 10 m korkeusmallin korkeustarkkuus ~ ± 1 m, hiukan tarkempi kuin maastotietokannan korkeuskäyrillä tuotetun korkeusmallin korkeustarkkuus → molemmissa tapauksissa tulvavaarakartan esitysmittakaavana pääsääntöisesti 1:100 000

Tarkempi tulvavaarakartta voidaan esittää aina myös epätarkemmalla taustakartalla (esim. tulvatiedotus kansalaisille)

Kuva 5. Esimerkkejä tulvavaarakartoista suositelluilla taustakartoilla. Vasemman puoleinen kartta on näyte peruskarttapohjalla esitetystä Porin yksityiskohtaisesta tulvavaarakartoituksesta. Keskimmäinen kartta on ote Varkauden 1:50 000 mittakaavaan laaditusta yleispiirteisestä tulvavaarakartasta. Tulvan alle jäävistä teistä näkyvät vain ääriiviat. Oikean puoleinen kartta on puolestaan näyte 1:250 000 mittakaavaan laaditusta yleispiirteisestä tulvavaarakartasta Kymijojelta.

Vesistöhankeiden hyödyn ja vahingon arvioinnissa tarvitaan yksityiskohtaista korkeusmallia. Tämä tulee kysymykseen esimerkiksi tulvasuojelutoimien vaikutusten laskemisessa. <Nämä poistaisiin, maataloudellisesta tulvasuojelusta on siirrytty erityisesti asuinalueiden suojeluun.> Arvion perusteella maksetaan korvaukset, joten lähtötietojen (korkeusmalli) on oltava yksityiskohtaisia. Näitä tehdään 1...2 vuosittain eri puolilla Suomea. Kuten tulvavaarakartoituksessa riittää, että korkeusmalli on alavalta rantavyöhykkeeltä.

Korkeusmalleihin toisi huomattavaa lisäarvoa niihin liitetty mahdollisimman tarkka vesistön pohjan topografia. Tällöin virtausmalleja varten, joita käytetään jokien vedenkorkeuksien määrittäminen virtaamista esimerkiksi tulvamallinnuksissa, ei tarvitsisi tehdä enää erillisiä luotauksia.



Kuva 6. Eri korkeusaineistoista laadittuja korkeusmalleja käyttäen samalla tulvaskenaariolla (HW 1/1000) määritetyt tulva-alueet Ilmajoelta. MML:n korkeusmalli 25:ä käyttäen muodostuu laajin tulva-alue. MML:n korkeuskäyristä laadittua edellistä hiukan tarkempaa korkeusmallia käytettäessä jää tulva-alue suppeammaksi. Tarkalla korkeusmallilla saadaan yksityiskohtainen tulvamallinnus – kartasta nähdään myös taiteviivojen ansiosta, ovatko tiet tulvaveden peittämiä.

Virtaus- ja valuma-aluemallinnuksen parantaminen korkeusmallin virtausreittejä korostamalla

Nykyinen 25x25 m:n korkeusmallin tarkkuus ja resoluutio eivät riitä luotettavaan hydrologiseen mallinnukseen etenkin alavilla alueilla. Virtausreitti- ja valuma-alueanalyysien lopputulosten laadukkuuden parantamiseksi SYKEssä on todettu parhaaksi käyttää ns. stream burning –metodia, jossa korkeusmallin virtaussuuntia/-reittejä korostetaan rantaviiva-aineiston avulla. Käytettäessä 12,5 m:n resoluutiota menetelmä parantaa huomattavasti korkeusmallin avulla

tehtyjen virtausreitti- ja valuma-aluemallinnusten lopputulosten suhteellista sijaintitarkkuutta vääristäen tietysti samalla korkeusmallin todellisia korkeustietoja. Menetelmä soveltuukin erinomaaisesti mm. valuma-alueiden geometrian mallintamiseen sekä tietyn kokoisen yläpuolisen valuma-alueen omaavien uomien paikantamiseen ja sijaintitarkkaan mallintamiseen. Tulokset ovat olleet lupaavia, mutta tosin varsinkin alavilla alueilla osin epätarkkoja ja manuaalista tulkintaa vaativia.

Stream burning –menetelmää käytetään mm. laadittaessa valtakunnallisesti kattavaa jokia kuvaavaa uomarekisteriä (VESIGIS-hanke), jossa menetelmää hyödyntäen paikannetaan yli 10 km²:n yläpuolisen valuma-alueen omaavat uomat. ArcInfo GRID:lla suoritettussa proseduurissa on SYKEssä käytetty lähtöaineistoina nykyistä MML25-korkeusmallia ja tarkentavana aineistona MML:n maastotietokannan rantaviiva-aineistoa (järvet ja yli 2 metriä leveät joet). Menetelmässä muunnetaan ensin järivialtaat ja eri leveysluokkia edustavat joet erillisiksi rasteriaineistoksi, jotka "poltetaan" korkeusmalliin koko/leveyshierarkian mukaisella "syvyysporrastuksella". Käytännössä leveimmät uomat jätetään alkuperäisille korkeuksille samalla kun pienempiä uomia ja niitä ympäröiviä maapikseleitä korotetaan. Toimenpide parantaa korkeusmallilla tehtävien virtausreitti- ja valuma-aluealgoritmien lopputulosten sijaintitarkkuutta huomattavasti, mutta ei auta itse korkeustietojen epätarkkuuteen liittyviin ongelmiin. Esimerkiksi korkeusmallin korkeustietojen avulla lasketut uomien kaltevuudet saattavat olla jopa päinvastaisia todelliseen virtaussuuntaan nähden.

Korkeusmalli eroosio- ja ravinnehuuhtoutumismallinnuksessa

Vesistöjen tilaa, kuormituksen vaikutuksia ja kuormituksen vähentämismenetelmiä arvioidaan tutkimalla sekä terrestrisessä että akvaattisessa ympäristössä vaikuttavien hydrologisten (esimerkiksi sadanta, haihdunta, suodanta, valunta) ja biogeokemiallisten tekijöiden (esimerkiksi hajoaminen, yhteyttäminen, ravintoketjuun liittyvät prosessit, sedimentaatio, eroosio) merkitystä ravinteiden kiertoon ja vesiympäristön ekologiseen tilaan. Suomen ympäristökeskuksen pienten valuma-alueiden tutkimusverkkoon kuuluu eri puolilla Suomea noin 40 aluetta, joista saatavaa tutkimustietoa käytetään mm. tuottamaan laskentamalleja em. prosessien vaikutusten tutkimiseen. Keskeisenä elementtinä valumavesien ja huuhtoutumien kulkeutumismallinnuksissa käytetään korkeusmallia.

Valuma-aluemalleissa korkeustietoa tarvitaan valuma-alueen geometrian sekä maaston muotojen mahdollisimman tarkkoihin määrittäksiin. Erityisesti pienillä ja tasaisilla valuma-alueilla korkeusmallin epätarkkuus on kriittinen tekijä mallinnuksessa. Nykyinen korkeusmallin korkeus-tarkkuus on aivan liian epätarkka esimerkiksi suhteellisen tasaisten peltojen kaltevuuksien laskentaan, jota tarvitaan mm. eroosion ja partikkelifosforin laskennassa. Topografialtaan vaihtelevilla mutta pienimuotoisilla alueilla taas maaston muodot katoavat resoluutioltaan liian suurihilaisten korkeusmallin vuoksi. Valuma-alueen sisällä olevan maaston suhteelliset korkeuserot pitäisi pystyä mallintamaan vähintään muutama kymmenen sentin tarkkuudella resoluution ollessa mieluummin korkeintaan 5x5 metriä.

Pienten valuma-alueiden tutkimusverkkoon kuuluvilta alueilla tehtäviä havaintoja (valunta, sade, lämpötila) ollaan automatisoimassa vuosina 2006-2008. Samalla 5-10 tärkeintä aluetta tullaan dokumentoimaan ja mallintamaan mahdollisimman monipuolisesti ja kattavasti (korkeustiedot, kaltevuus, maankäyttö, kasvillisuus, puusto, maaperä jne.). Ko. alueilta tarvitaan erityisen tarkka korkeusmalli (esimerkiksi laserkeilaus). Seuraavat alueet kuuluvat tärkeimpään ryhmään:

- Hovi, Vihti (Karjaanjoen vesistöalue)
- Teeressuonoja, Vihti (Karjaanjoen vesistöalue)
- Savijoki, Tarvasjoki (Aurajoen vesistöalue)
- Huhtisuonoja, Ruokolahti (Vuoksen vesistöalue)
- Myllypuro, Hyrynsalmi (Oulujoen vesistöalue)
- Vähä-Askanjoki, Kemijärvi (Kemijoen vesistöalue)

3.9 Helsingin kaupunki (kuntasektori)

Valtakunnallisen korkeusmallin käyttö

Kuntasektorilla valtakunnallista korkeusmallia on käytetty ja käytetään kaikkein laajimmin ortokuvien tuotannossa. Kuvia valmistetaan pienimittakaavaisina koko kaupungin tai kunnan kattavina sekä suurempaan mittakaavaan suunnittelualuekohtaisesti. Valtakunnallisia 25m ja 10m malleja käytetään joko sellaisinaan tai täydennettynä yleensä fotogrammetrisilla lisämittauksilla jotka voivat olla joko hajapisteitä tai taiteviivoja aina tapauskohtaisesti tarkkuus- ja muista laatuvaatimuksista riippuen. Etenkin yksityiskohtaiseen suunnitteluun tarkoitetut ortokuvat edellyttävät rakennetulla alueella lisämittauksia.

Helsingin kaupunki ei ole käyttänyt valtakunnallista korkeusmallia muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kartta- tai kuvatuotannossaan. Joskus 80/90-luvulla 25m:n ruutuun tehtyä mallia käytettiin joidenkin ortokuvien tuottamiseen kaupunkisuunnittelijoiden tarpeeseen. Kyseessä olivat lähinnä yleissuunnitteluun tarvittavat pienimittakaavaiset kuvat, jolloin harvasta ja epätarkasta mallista aiheutuvat virheet eivät muodostuneet häiritseviksi. Siirryttäessä karttatuotannossa digitaaliaikaan suunnittelijoiden tarve saada aikaan ortokuvan ja vektoriaineiston yhdistelmiä nosti myös ortokuvan tarkkuudelle asetettuja vaatimuksia ja näin myös sen valmistuksessa käytetylle korkeusmallille asetettuja vaatimuksia. Tästä johtuen kaupunkimittausosastolla on ortokuvien valmistuksessa käytetty joko kaavan pohjakartan käyrästöstä laskettua korkeusmallia tai erikseen fotogrammetrisesti tuotettuja hajapiste/taiteviivakorkeusmalleja.

Valtakunnallisen korkeusmallin käyttö erilaisten suunnittelutehtävien pohjana on todettu tarkkuudeltaan riittämättömäksi ja harvaksi. Pienipiirteisellä rakennetulla alueella myöskään 10 m:n ruutuun laadittu malli ei sovellu tarkkuudeltaan edes yleissuunnittelun pohjaksi.

Yhteenveto

Kaupunkimittausosaston kokemusten mukaan ei nykyinen valtakunnallinen malli tarkkuutensa ja pistetiheydensä puolesta tarjoa paljoakaan käyttökohteita kaupunkisektorille ortokuvatuotantoa lukuun ottamatta. Asemakaava-alueella tarkkuusvaatimukset korkeusmallille ovat alle 10 cm luokkaa etenkin rakennetuilla alueilla. Kaupunkimittausosaston kokemusten perusteella voidaan tehdä tulevaisuutta ajatellen seuraavia havaintoja erilaisten mallien suhteen:

Kaupunkialueilta tulevaisuudessa laaditaan entistä yksityiskohtaisempia tarkkoja 3d malleja etenkin taajama-alueilta. Laserkeilaus mallin tuottamisessa tulee yleistymään ja aineistojen koko kasvaa monikymmenkertaiseksi. Tuskin voidaan ajatella, että valtakunnallista korkeusmallia tuotettaisiin jo kustannussyistä asemakaava-alueiden edellyttämällä pistetiheydellä ja tarkkuudella. Rakennetuilla alueilla muutokset ovat myös siinä määrin suuria että aineiston ajan tasalla pito muodostuisi jo ongelmaksi.

Asemakaava-alueiden ulkopuolella olevien alueiden korkeusmallin tarkkuutta tulisi kuitenkin oleellisesti parantaa, jotta mallin käyttökelpoisuutta voitaisiin lisätä eri yleissuunnitelmissa. Näin mahdollistuisi myös tarkkojen kaupunkimallien yhdistäminen reuna-alueiden mallien kanssa yhtenäisiksi saumattomiksi kokonaisuuksiksi.

Lisäksi kuntasektorin kannalta olisi tarkoituksenmukaista mikäli aineistoa voitaisiin tuottaa erilaisilla tarkkuuksilla eri alueilta. Tietyt alueet kuten asemakaava-alueiden ulkopuoliset taajama-alueet tulisi tuottaa suuremmalla tarkkuudella. Samoin voitaisiin menetellä esimerkiksi erilaisten tulvaherkkien ranta-alueiden kohdalla. Tällä olisi myös valtakunnallista merkitystä. Tässä suhteessa tulisi tutkia laserkeilauksen mahdollisuuksia korkeusmallin tuottamiseen. Laserkeilauksella tuotettu aineisto tarjoaa muita menetelmiä monipuolisemmat käyttömahdollisuudet. Peitteisessä maastossa lasertekniikka on lisäksi ylivoimainen muihin menetelmiin verrattuna.

3.10 Merenkulkulaitos

MKL:ssa korkeustiedot tai paremminkin syvyystiedot ovat tärkeässä roolissa merikartoituksessa ja väyläpidossa. Laitos on itse korkeus(syvyys)tiedon tuottaja hankkiessaan merenmittauksilla syvyystietoja niiltä Suomen meri- ja sisävesialueilta, joilta se julkaisee merikarttatuotteita. Toisaalta laitos hankkii korkeustietoja muilta tiedon tuottajilta mm. Maanmittauslaitokselta omaan käyttöönsä.

Väylänpidossa meren- tai sisävesistöjen pohjan mallinnusta sovelletaan väyläsuunnittelussa erikoisesti väylätilaa määriteltäessä ja ruopattavia massoja laskettaessa. Korkeustieto luotojen, saarten ja rannikon korkeussuhteista edesauttaa turvalaitteiden tarkoituksenmukaista sijoittelua suunniteltaessa (näkyvyysanalyysit). Maaston korkeussuhteita ja sen mallinnusta käytetään myös kanavasuunnittelussa ja siihen liittyvissä työmäärälaskelmissa.

Merikartoitus tarvitsee syvyysmalleja tuottaakseen syvyyskäyrät ja –alueet merikarttatuotteille, joita julkaistaan nykyään painetussa ja digitaalisessa (ENC) muodossa. Painetuilla kartoilla on viime vuosina alettu esittää maaston korkeuskäyriä, ilmentämään navigoijille maaston korkeussuhteita.

3.11 Radio- ja puhelinverkkojen suunnittelu

Korkeussuhteita, rakennuksia, puustoa ja muita radio-aaltojen etenemiseen vaikuttavia elementtejä kuvaavia aineistoja käytetään hyödyksi suunniteltaessa ja optimoitaessa mastojen, antennien ja muiden laitteiden sijoittamista.

Harvaan rakennetuilla alueilla suunnitteluun voidaan käyttää valtakunnallisia aineistoja, mutta tiheään rakennetuilla alueilla tarvitaan korkeusmalleja täydentävää tietoa rakennuksista ja muista signaalien etenemiseen vaikuttavista kohteista. Tietoa on tuotettu erilaisia aineistoja yhdistelemällä. Laserkeilauksen avulla voidaan tuottaa aineistoa, joka on tehokkaasti hyödynnettävissä näissä tehtävissä.

3.12 Tulevaisuuden mahdollisuudet

3.12.1 Tulvavaarakartoitus

Alueelliset ympäristökeskukset ovat aloittaneet vuoden 2005 aikana järjestelmällisen tulvavaarakartoitustyön. Pääpaino on lähitulevaisuudessa yleispiirteisen tulvavaarakarttojen laadinnassa mittakaavassa 1:50 000. EU:n tulevassa tulvadirektiivissä tultaneen vaatimaan tulvakarttojen tarkistamista ja päivittämistä vähintään kuuden vuoden välein vuodesta 2013 lähtien. Korkeusmalli vaikuttaa erittäin paljon tulvavaarakartoitukseen vaadittaviin resursseihin. Jos riittävän tarkka korkeusmalli on valmiina käytettävissä, pienentyvät tulvavaarakartoituksen työaika- ja kustannukset huomattavasti. Yleispiirteisten tulvavaarakartoitusten laatimista varten tarvittaisiin nykyisiä korkeusmalleja tarkempi korkeusmalli erityisesti vesistöjen rannoilta eli alueilta, jotka sijaitsevat alempana kuin keskivedenkorkeus + n. 10 m, GRID-malli, jonka resoluutio on 2,5 m ja korkeustarkkuus +/-50 cm (1. prioriteetti). Taajama-alueilta tarvittaisiin tarkka TIN-muotoinen korkeusmalli (sis. mm. teiden taiteviivat), korkeuskeskivirhe max. +/-20 cm (2. prioriteetti).

3.12.2 Uuden valtakunnallisen valuma-aluejaon laatiminen

Ympäristöhallinnon tärkeimpiä ylläpidettäviä paikkatietokantoja on valtakunnallinen valuma-aluejako, joka valmistui koko Suomen kattavana vuonna 1990. Valuma-aluejako digitoitiin koko Suomen kattavasti 1:50 000 mittakaavaisilta kartoilta topografian ja vesistöjen perusteella. Valuma-aluejako on Arc/Info-tietokanta, joka sisältää päävesistöalueet, niiden osa-alueet (1.-3.

jakovaihe) ja purkupisteet sekä merialuejaon. Päävesistöalueita on 74 kpl ja 3. jakovaiheen alueita n. 5600 kpl.

Ympäristön tilan tutkimusten ja seurantojen keskeisenä perusaineistona niin ympäristöhallinnossa kuin sen ulkopuolellakin käytettävä valuma-alue tietokanta ei enää täytä vaatimuksia, joita tietojärjestelmien karttapohjaistuminen, GIS-analyysit sekä vesipolitiikan puitedirektiivi sille asettavat. Valuma-alue tietokannan sijainti- ja ominaisuustiedoissa esiintyy epätarkkuuksia, virheitä sekä selkeitä puutteita, jotka johtuvat mm. tekovaiheessa käytetystä digitointimittakaavasta, tulkinta- ja huolimattomuusvirheistä sekä myöhemmän ihmistoiminnan vaikutuksista valuma-alueiden vedenjakajiin. Raja- ja tunnus- ja purkupistevirheiden lisäksi tietyiltä alueilta valuma-aluejako puuttuu kokonaan (mm. suuret merisaaret sekä tietyt rannikko- ja raja-alueet). Myös tarve valuma-alueiden jakamiseen nykyistä pienempiin osiin (ns. 4. jakovaihe) on ilmeinen.

SYKE käynnistää vuonna 2006 uuden valuma-aluejaon laatimisesta esiselvitystyön, jossa kartoitetaan tarpeet, toiveet ja odotukset uuden valuma-aluejaon suhteen sekä pyritään määrittelemään eri vaihtoehdot uuden tarkemman valuma-aluejaon tuottamiseksi. SYKE:ssä on tehty valuma-alue mallinnustestejä nykyisellä MML25-korkeusmallilla, jonka virtausreitit on korostettu maastotietokannan rantaviiva-aineiston avulla. Tulokset ovat olleet parhaimmillaan melko lupaavia, mutta varsinkin alavilla alueilla liian epätarkkoja ja manuaalista tulkintaa vaativia. MML10-korkeusmalli antanee todennäköisesti parempia tuloksia. Tämäkin vaihtoehto sisältäisi kuitenkin melko runsaasti manuaalista tarkistustyötä ja viimeistelyä. Mikäli käytettävissä olisi kuitenkin vielä sitäkin tarkempi korkeusmalli niin korkeustarkkuudeltaan kuin resoluutioltaankin, olisi valuma-alueiden riittävän luotettava automaattinen mallinnus mahdollista ilman suurta manuaalisen tarkistus- ja tulkintatyön osuutta.

3.12.3 Metsien muutostulkinta laserkeilauksessa

Useamman ajankohdan laserkeilausaineistoilla voidaan tehdä muutostulkintaa. Voidaan tarkasti seuranta, miten korkeusmalli ja myös kohteet ovat muuttuneet ajan saatossa. Tämä edellyttäisi sitä, että valtakunta kartoitettaisiin uudestaan esimerkiksi 2020. Tällöin mahdollisuuksia olisivat mm. puun pituuskasvun määrittäminen (Yu ym. 2005a) sekä puuston biomassan, tilavuuden ja muiden suureiden muutos (Yu ym., tulossa) ja raportoida tarkasti Kyoton jälkeisten ilmastopäätösten biomassamuutokset, jotka ovat mahdollisia hiilinieluja.

Muutostulkinnassa tulee huomioida, että vanhemman aineiston tarkkuus (pistetiheys) ratkaisee tulevat muutostulkintasovellukset.

3.12.4 Muita mahdollisuuksia

Valtakunnallinen laserkeilaus mahdollistaisi mm. seuraavaa

- veden laadun ja veden pinnan nostamisen hallitusti ja optimoidusti rehevöityneissä järvissä
- ympäristövaikutusten arviointi
- melumallinnus
- tietoliikenteen ja radioaaltojen etenemismallinnus ja verkkojen suunnittelu
- jokivarsien muutostulkinta (korvaukset maanomistajille patovalleista)
- virtuaalitodellisuus
- yhdyskuntasuunnittelu.

MMM:n maataloussektorilla nykyistä parempaa korkeusmallia voitaisiin hyödyntää seuraavasti:

- Ideaalisella korkeusmallilla voitaisiin todennäköisesti tehdä tietokoneavusteista peltolohkojen ylläpitoa ts. ojat näkyisivät, jolloin digitoija / valvoja voisi tehdä luotettavan lohkorajauksen kierrättämättä koko lohkoa.

- Ideaalisen korkeusmallin avulla voitaisiin suunnata ympäristön hoitotoimenpiteitä kuten esimerkiksi osoittaa käytön rajoituksia valumaherkille pelloille vesistöjen lähellä.
- Ideaalisen maastomallin avulla voitaneen tehdä myös automaattisia vesistötarkasteluja kuten esimerkiksi päätellä valuma-alueen valtaojien sijaintia jo olemassa olevan peltolohkokisteritiedon avulla. (Nyt sama oja on toisen tilan kohdalla tavallinen oja, toisen tilan kohdalla valtaoja.)

GTK:n ylläpitämän kiviainestilinpidon kannalta tarvittaisiin melkoisen tiheästi päivittyvää koko ajan tilanteen tasalla olevaa mallia, mikäli tarkoitus olisi nojautua korkeusmalliin käyttöön saatavissa olevien aineiden laskennassa. Tilinpidon idea kuitenkin perustuu vuosittaisten ottomäärien lakisääteisiin ilmoituksiin. Ympäristöhallinto käyttää otto- ja ottamisalueen rajauksia tehdessään apuna ottosuunnitelmapaketteja sekä oton seurannassa satelliittikuvia ja tarkkaa ilmakuvaa-aineistoa.

Geologisten esiintymien raaka-aineiden laskennassa korkeusmallin tarkkuudella on merkitystä ja tarkemmasta maanpinna korkeusmallista olisi hyötyä (olennaista on myös tieto pohjavedenpinnasta ja/tai kallionpinnasta).

Merenkorkeuden muutoksien vaikutusten arviointi (ihmistoiminnan aiheuttamat muutokset, maannousu) niin lyhyellä kuin pidemmälläkin geologisella aikajaksolla rannikkoalueilla on tärkeää.

4 Valtakunnallisen korkeusmallin tuotantotekniikat

Korkeusmallien tuotannossa maa-alueilta maailmalla on käytetty ainakin ilma- ja satelliittikuvien mittaamiseen perustuvia fotogrammetrisia menetelmiä, laserkeilausta ja tutkakuvaukseen perustuvaa SAR-interferometriaa. Kustakin menetelmästä on seuraavassa lyhyt kuvaus. Suomen olosuhteisiin soveltuviksi ja geometrisiltä ominaisuuksiltaan riittäviksi on arvioitu ilmakuvien mittaamiseen perustuva fotogrammetrinen menetelmä ja laserkeilaus.

4.1 Fotogrammetrinen menetelmä

4.1.1 Tekninen kuvaus

Fotogrammetrinen korkeusmallin tuotanto perustuu stereoilmakuvien mittaamiseen, ks. tarkemmin esimerkiksi <http://foto.hut.fi/opetus/220/luennot/6/6.html>.

Viime vuosina fotogrammetrisen menetelmän joustavuutta on lisännyt ilmakuvauksessa käyttöön otettu suora georeferointi ja integroitu georeferointi. Kuvaussensorin orientaatio voidaan näillä menetelmillä määrittää joko kokonaan ilman maastotukipisteitä tai harvoja tukipisteitä käyttäen inertiamittauksen ja GPS:n avulla. Suomessakin käyttöön otetun VRS-verkon myötä on poistunut myös GPS-tukiasemien tarve. Ilmakuvauksessa on alkanut digitaalisensorien käyttöönotto, ja ne yleistyvät lähivuosina voimakkaasti.

Perinteisesti kuvia on mitattu stereomittauslaitteilla, mutta mittaus voidaan myös tehdä automaattisesti digitaalisilta kuville käyttäen hyväksi erilaisia algoritmeja joilla kuville löydetään vastinpisteitä, -alueita tai piirteitä. Stereoskooppisen mittauksen ominaisuus on se, että kuville voidaan mitata vai niitä kohteita jotka erottuvat useammalla kuin yhdellä kuvalla. Siksi peitteisessä maastossa maan pinnan korkeuden mittaaminen on vaikeaa tai mahdotonta.

Korkeusmallin muodostuksessa menetelmävaihtoehtoja on periaatteessa kolme:

- täysin manuaalinen mittaaminen, jossa operaattori tekee mittaukset kattavasti
- täysin automaattinen, kuvien matemaattiseen yhteensovittamiseen perustuva mittaaminen

- edellisten yhdistelmä, jossa automaattisesti mitataan ne alueet joilla automaattinen mittaus tuottaa riittävän hyvän lopputuloksen, ja sitä parannetaan vuorovaikutteisella mittaamisella niillä alueilla joissa se katsotaan tarpeelliseksi.

Mikä menetelmä on tehokkain ja tuottaa tarvittavaa laatua, riippuu pitkälti maaston laadusta ja peitteisyydestä.

Fotogrammetrisen menetelmän etuja:

- hankittuja ilmakuvia voidaan käyttää lisäksi muihinkin tarkoituksiin (alentaa menetelmän kustannuksia)
- valtakuntaa kattavasta ilmakuva-aineistoista voidaan löytää kuvamateriaalia jonka kuvausajana nyt peitteinen maasto on ollut avoimempaa
- työhön on runsaasti osaamista
- kun ilmakuvat on hankittu, työ on ajasta ja paikasta riippumatonta
- menetelmän kustannukset voidaan arvioida tarkasti, koska siitä on runsaasti kokemusta.

Haittoja:

- saavutettavan korkeusmallin korkeustarkkuus riippuu oleellisesti maaston peitteisyydestä.

4.1.2 Referenssejä

2000-luvun alkuun mennessä tuotetut korkeusmallit lienevät pääosin tuotettu stereomittaukseen perustuvalla fotogrammetrisellä menetelmällä. Käytännössä alalla toimii lukematon määrä yrityksiä, pienistä paikallisista yrityksistä maailmalaajuisesti toimiviin suuryrityksiin asti. Lisäksi monet valtioiden karttalaitokset ja muut julkiset organisaatiot tekevät korkeusmalleja omana tuotantonaan.

4.1.3 Laatu

Teoreettinen korkeuden mittaustarkkuus on normaalikulmaobjektiiveilla 0,15 promillea lentokorkeudesta ja välikulmaobjektiiveilla noin 0,2 promillea, jolloin se perinteisesti valtakunnallisissa kartoituksissa käytetyillä kuvauskorkeuksilla on noin 70 cm. Lisäksi on otettava huomioon ilmakuvien tulkintaepävarmuus, eli mihin maan pinta tulkitaan. Se riippuu maastotyypistä. Tulkintaa vaikeuttavat aluskasvillisuus, maaston peitteisyys, kuvilla olevat varjot sekä eräiltä osin rakenteet. Tulkintavirheet aiheuttavat myös karkeita virheitä, joiden suuruus voi olla useita metrejä. Tulkintavirheiden määrää voidaan vähentää laadunvarmennuksella, täydennysmittauksilla ja erityisesti hyvällä osaamisella.

Tasosijaintitarkkuus (x/y) on muutamien desimetrien luokkaa riippuen kuvausparametreista ja orientointimenetelmästä.

Korkeuspisteiden mittaus- ja tulkintatarkkuuden lisäksi muodostettavan korkeusmallin laatuun vaikuttaa niiden tiheys ja jakauma. Lisäksi korkeusmallissa on sen laadinnassa käytetyistä laskenta-algoritmeista johtuvia virheitä ja puutteita. Nämä voivat johtua suoranaisista algoritmien virheistä tai siitä, että niihin liittyvät parametrit eivät ole soveltuvia kyseisen maaston topografiaan. Myös sillä, miten ja kuinka paljon korkeusmallin laskennassa käytetään hyväksi maastoon liittyviä topologiaehtoja (vesistöjen pintoja, rantaviivoja, rakenteita, yms.) on vaikutusta korkeusmallin laatuun.

4.1.4 Kustannukset

Ilmakuvien tuotanto

Kuvausmittakaava 1:16 000: Noin 40 euroa / km², sisältäen ilmakehuvaamisen ja digitaalisten stereomallien tuotannon. Kuvausmittakaava 1:31 000: Noin 10 euroa / km².

Korkeusmallin tuotanto manuaalisella menetelmällä

Kokemusten mukaan nykyaikaisella stereotyöasemalla normaalityöskentelyssä suomalaisella palkkatasolla korkeusmallin tuotannon kustannukset ovat 50 – 100 euroa / km². Kustannuksiin vaikuttaa oleellisesti maaston laatu, käytössä oleva tuotanto-ohjelmisto, käytössä olevien ilmakehuvien laatu ja muut olosuhteet.

Ilmakehuvien hankinnan ja korkeusmallituotannon kokonaiskustannuksiksi tulee siis suurusluokkaa 100 euroa / km² (1 euro / ha), mikäli pyritään noin metrin korkeustarkkuuteen.

Yllä mainittuja ilmakehuvien hankintakustannuksia voidaan jakaa useammalle käyttökohteelle riippuen siitä mistä päin valtakuntaa kuva-aineistot on hankittu ja minkä tyyppisistä kuvista on kysymys. Maanmittauslaitoksessa korkeustietojen tuottamiseen käytettäviä ilmakehuvia käytetään aina myös maastotietojen ajantasaistukseen. Lisäksi asiakkaat käyttävät kuvia erilaisiin suunnittelutehtäviin, peltotietokannan ylläpitoon, kiinteistöjen markkinointiin ja hallinnointiin, lähihistorian tutkimukseen, havainnollistamaan karttaesityksiä, jne. Se miten moneen kertaan hankittu kuva-aineisto tulee käytettyä, riippuu oleellisesti siitä miltä alueelta se on. Karkeasti voi arvioida että vuosikymmenten kuluessa käyttö voi olla 4-5 -kertainen. Koska Maanmittauslaitoksessa kartoituskuvaukset tehdään pääsääntöisesti mustavalkokuvauksina (joista maanpinta erottuu paremmin kuin väri-infrakuvauksista) eivät ne ole kovin käyttökelpoisia metsätalouskäytössä, ja siksi niitä ei juuri niissä tehtävissä käytetä. Digitaalisensorien käyttöönotto saattaa muuttaa tätä tilannetta, koska niillä saadaan rekisteröityä kerralla eri aallonpituusalueita ja sensorien paremman dynamiikan ansiosta myös kartoituskuvausten ajankohta saattaa olla lähempänä metsäkuvausten ajankohtaa.

4.2 Laserkeilaus

4.2.1 Tekninen kuvaus

Laserkeilaimien kehityksen on mahdollistanut viimeaikainen lentokoneiden asennon ja kallistuksen seuraamisjärjestelmät (inertiajärjestelmä, IMU), paikannus- ja navigointijärjestelmät (GPS) ja nopeiden keilaimien lasertekniikan kehitys.

Laserkeilaimen perusidea on hyvin yksinkertainen. Mittaus tehdään lentävästä aluksesta (lentokone, helikopteri, miehittämätön lentokalus, lennokki). Mittaukset tehdään nauhamaisina lentolinjoina. Laser koostuu keilainosasta, joka aiheuttaa lentosuuntaa vastaisen poikkeutuksen, laser-tykistä, joka tuottaa laserpulssit, ja ilmaisinosasta, joka tulkitsee vastaanotetun signaalin ja määrittää sen perusteella etäisyyden kohteeseen. Lentokoneessa olevan laserkeilaimen lasertykin lähettämä laserpulssi osuu kohteeseen ja palaa takaisin ilmaisimelle, jolloin voidaan määrittää kohteen ja laserin välinen etäisyys pulssin kulkuajan perusteella. Kun lasertykin asento ja paikka ovat tarkasti tunnetut, mitattu etäisyys lasertykin ja kohteen (tässä tapauksessa puun) välillä voidaan muuttaa korkeudeksi; tähän perustuu koko laserin avulla tapahtuvan pintamallin mittaaminen. Hyvä tarkkuus edellyttääkin kohtuullista suorapaikannusta.

Laserin asento ja sijainti määritetään tyypillisesti inertiajärjestelmän ja GPS-mittauksen avulla (Global Positioning System, maailmanlaajuinen satelliittiverkosto paikantamiseen). Inertiajärjestelmä mittaa joko pelkkää asentoa tai asentoa ja paikkaa inertia-antureita käyttäen. Laserkeilaintekniikan GPS-mittauksessa on yksi GPS-vastaanotin samassa lentävässä alustassa kuin

laserkeilain ja maassa on referenssiasema tutkittavan alueen lähietäisyydessä, esimerkiksi 30 km säteellä.

Tyypilliseen laserkeilainlaitteistoon kuuluu lisäksi tiedontallennus- ja valvontajärjestelmä sekä yhä yleisemmin digitaalinen kamera.

Ilmakuvaukseen verrattuna laserkeilaus ei edellytä tiheää tukipisteverkkoa maanpinnalla. Riittää, kun käytössä on tarkka referenssipiste differentiaali-GPS:n tukiasemavastaanotinta varten. Yksi tukiasema kattaa alueen, jonka säde on maksimissaan 30 kilometriä, mikä riittää alle 10 cm tarkkuuteen (Cramer, 1999). Lasermittaukset on mahdollista tehdä myös pimeään aikaan, mutta se vaatii kuitenkin "GPS-ikkunan". Tukiasema voidaan toteuttaa myös virtuaalisena ratkaisuna.

Laserkeilauksen tukemat sovellukset

Koska laseraineistosta on mahdollista laskea erilaisia pintamalleja, laserkeilaus mahdollistaa yleisen maastomallin lisäksi myös muita sovelluksia. Korkeamalliaineiston tuotantomenetelmää päätettäessä tulisi huomioida myös muut mahdolliset sovellukset, jos yksi tiedonkeruutekniikoista on laserkeilain.

Muita mahdollisia sovelluksia ovat:

- valtakunnallinen maastomalli
- puuston inventointi ja kasvu
- tietoliikenteen verkkosuunnittelu
- vesistöjen rehevöitymisen estäminen (veden pinnan nosto), tulviin varautuminen
- virtuaalitodellisuus
- kaupunkimallit
- maastotietokanta
- ympäristövaikutusarviointi
- yhdyskuntatekniikka: suunnittelun lähtötiedot
- useimpien paikkatietoaineistojen nykyaikaistaminen

4.2.2 Referenssejä

Pohjoismainen toiminta

Vuonna 1996 oli vain yksi yritys, joka myi kaupallisia lentokäyttöisiä laserkeilainjärjestelmiä. Laserkeilainmittausta tekeviä kaupallisia yrityksiä oli viisi, nyttemmin määrä on monikymmenkertainen. Laserkeilainjärjestelmiä tai sen osia kaupallisesti valmistavat mm. Optech, Leica, Toposys, Nortech Geomatics, RIEGL ja NEC. Laserkeilainmittausta tekevät yritykset ovat toinen ryhmä. Ne ovat rakentaneet omat laitteistonsa, eivätkä myy niitä vaan tarjoavat mittauspalvelua. Mittauspalvelu yleensä käsittää myös aineiston esikäsittelyn, jolloin asiakas saa tilaamansa aineiston joko ruutumallina tai pisteinä jo oikeaan koordinaatistoon, korkeustasoon ja sijaintiin muunnettuna.

Laserkeilausmenetelmien käyttöönottoa estää aineistojen heikko saatavuus ja sitä kautta kalleus. Laserkeilain on saatavana parhaiten Suomessa seuraavilta yrityksiltä:

Blom AS, Norja, Optech 100 kHz keilain
 TopScan GmbH, Saksa, Optech 100 kHz keilain
 TopEye AB, Ruotsi, 50 kHz laite
 Toposys GmbH, Saksa, 83 kHz
 Terra Digital, Saksa, 83 kHz (Leica)
 FLI-MAP, Hollanti, 21 kHz

Suomessa laserkeilainpalveluja tarjoavat mm. FM-Kartta Oy, TopTerra Oy, Tieliikelaitos, Sito Oy, Maa- ja Vesi Oy ja T:mi Justiinmitta. Käytännössä ne käyttävät edellä olevia laitetoimittajia.

Suomessa laatututkimuksia kontrolloiduissa olosuhteissa ovat suorittaneet vuosina 1998-2004 Geodeettinen laitos (Prof. J. Hyypä), Teknillisen korkeakoulun Fotogrammetrian ja Kaukokartoituksen laboratorio (Dos. H. Hyypä), Joensuun yliopiston metsätieteellinen tiedekunta (Prof. M. Maltamo) ja raportoineet tuloksia tieteellisesti arvioituissa lehdissä. Teknillisen korkeakoulun Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio ja Geodeettisen laitoksen Kaukokartoituksen ja fotogrammetrian osasto ovat organisoineet ja osallistuneet useisiin laserkeilauskampanjoihin vuosina 1998-2005. Nämä kampanjat ovat pääosin tehty saksalaisen Toposysin, ruotsalaisen TopEyen ja kanadalaisen Optechin laserkeilaimilla. Lentoja ovat operoineet TopTerra Oy, FM-kartta Oy, TopEye AB ja Toposys GmbH.

Taulukko 1. Pohjoismaissa käytetyt laserkeilaimet (-2004).

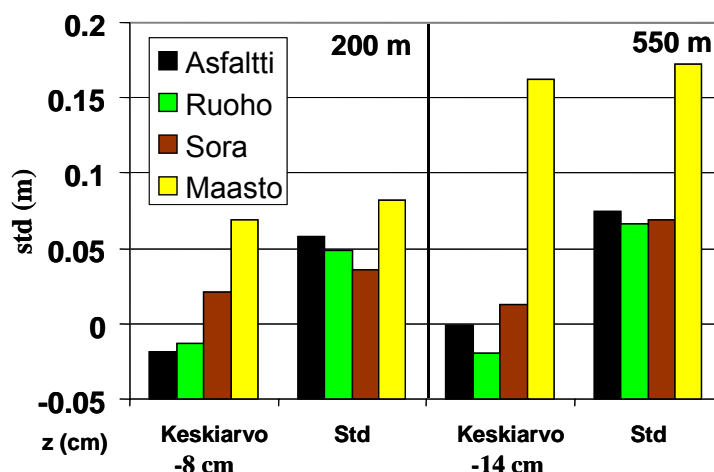
Järjestelmä	Operaattori	Vuonna	PRF (Hz)	Alusta	Maa
FLASH	FOA, Ruotsi	1991	160	Helikopteri	Ruotsi
ALTM 1020	Fotonor AS, Norja; TopScan GmbH, Saksa	1995	2000	Lentokone	Norja
ALTM 1210 ^a	Fotonor AS, Norja;	1999-2001	10 000	Lentokone	Norja
ALTM 1233 ^a	BN Mapping AS, Norja TopScan GmbH, Saksa	2003 2002	33 000	Lentokone	Norja / Ruotsi Norja /Suomi
ALTM 1233 ^a	BN Mapping AS, Norja	2003	33 000	Helikopteri	Norja
TopEye	TopEye AB, Ruotsi	1996-2003	7000	Helikopteri	Ruotsi / Suomi
TopEye MK-II	TopEye AB, Ruotsi	2003-2004	50 000	Helikopteri	Ruotsi / Suomi
TopoSys-1	FM-Kartta Oy, Suomi	1998, 2000	83 000	Lentokone	Suomi
TopoSys Falcon	TopoSys, Saksa	2003	83 000	Lentokone	Suomi

4.2.3 Laatu

Yksityiskohdat maastomallin tarkkuudesta löytyvät tutkijoiden julkaisuista, mutta yleisesti ottaen maastomallin tarkkuus on ollut 15-30 cm luokkaa metsäisellä maastolla. Tärkein asiaan vaikuttava tekijä on pistetiheys. Viimeaikaisia tuloksia on luettavissa Yu ym. 2005b ja Hyypä, H., ym. 2005. Ahokas ym. 2005 mukaan myös korkealta tehdyt keilaukset tuottavat 20-30 cm tarkkaa mallia.

Esimerkkejä laserkeilauksen laadusta monikäyttönäkökulmasta

Seuraavassa on esitetty esimerkkien avulla laserkeilauksella saavutettavaa tarkkuutta. Suomalaisissa esimerkeissä laseraineistojen tarkkuus on määritetty vertaamalla syntyneitä malleja ja pistejoukkoja referenssimittauksiin. Laserpisteiden laadun arvioinnissa voidaan määrittää sijaintitarkkuus (x-, y-, z-tarkkuus), joka sisältää sekä systemaattisen ja satunnaisen osan. Kaupunkimallin ollessa kyseessä voidaan arvioida myös sijainnista riippumattomia suureita, mm. pituusmittojen, pinta-alojen ja tilavuuksien oikeellisuutta.



Kuva 7. Pintamateriaalin/kohteen vaikutus (© Hannu Hyyppä, TKK).

Kuvassa 7 on esitetty TopEye:n aineistolla kahdelta eri lentokorkeudelta (200 ja 550 m) tehtyjä tarkkuusanalyysyjä. Tarkkuus on määritetty neljälle eri kohdemateriaalille: asfaltille, ruoholle, soralla ja peitteiselle maastolle. Tuloksia analysoitaessa havaitaan, että eri materiaalien välillä on vain pieni systemaattinen ero. Ero on hyvin pieni huomioiden, että yksittäiset suuret virheet saattavat aiheuttaa helposti myös tulkintavirheitä. Kuitenkin eri materiaalien välillä on tilastollisesti havaittava korkoero. Ero johtuu pääsääntöisesti aikaisemmin mainitusta voimakkaamman signaalin leviämisestä ja siitä syntyvästä etäisyyseroista, mutta myös muista systemaattista virhettä aiheuttavista lähteistä (kuten eri keskimääräinen keilauskulma, kohteen epätasaisuus vrt. ruohikko). Eri kohteiden satunnaisvirhe puolestaan 200 m korkeudesta on likimain sama 4-6 cm. Tulee kuitenkin muistaa, että näin hyviä tuloksia saadaan vain optimiolosuhteissa, eli aineistojen tulee olla asianmukaisesti prosessoituna. Kumpuilevan maaston satunnaisvirhe 200 m korkeudesta oli n. 8 cm. Tämä on selitettävissä kohdealueen (Otaniemen) verraten tasaisella maastolla. Erityisesti 550 m:n korkeudesta on merkille pantavaa, että systemaattinen tasoero on siirtynyt 6 cm, vaikka kyseiset lennot on tehty samana päivänä vieläpä noin yhden tunnin aikana. Tasoero voidaan selittää suorapaikannuksen virheenä ja ero on hyvä esimerkki eri blokkien välisestä virheestä. Merkille pantavaa on myös kumpuilevan maaston systemaattisen virheen tasoero. Ero on selitettävissä aluskasvillisuuden, kaltevuuden ja keilan koon kasvun yhteisvaikutuksella. Satunnaisvirheet 550 m:n korkeudesta olivat 7-8 cm luokkaa tasaisille kohteille ja kumpuilevalle maastolle 17 cm:n luokkaa.

Laserkeilauksella voidaan tuottaa puustosta pituusinformaatiota, joka kuvaa puuston tärkeitä suureita kuten keskipituutta, tiheyttä ja tilavuutta. Jos aineisto on tiheätä (>1 pulssia per m²), voidaan kohteesta yrittää tunnistaa yksittäisiä puita tai puurykelmiä. Näille rykelmille voidaan määrittää pituus ja usean ajankohdanaineistoilla jopa kasvu. Taulukossa 2 on esitetty miten puun pituuden mittaustarkkuus muuttuu pistetiheyden kasvaessa. Koetyö on tehty Toposys Falcon-järjestelmällä, jolla keilan koko on 1 mrad. Kansainvälissä tutkimuksissa systemaattinen virhe pituusmittauksessa olevan 0-1.3 m. Ko. koetyössä maastomittauksien ja keilauksen välillä oli 1.5 vuoden kasvu, minkä vuoksi laserilla mitatut puut ovat olleet 10-50 cm pidempiä, kuin samanaikaisissa mittauksissa.

Taulukko 2. Pulssitiheyden vaikutus puun pituuden mittaamiseen eri puulajeilla (Yu ym. 2004).

Pistetiheys (pts/m ²)	10		5		2.5	
Puulaji	Bias (m)	S.D. (m)	Bias (m)	S.D. (m)	Bias (m)	S.D. (m)
Mänty	-0.16	0.69	-0.20	0.74	-0.39	0.87
Kuusi	0.00	0.69	-0.09	0.81	-0.19	0.95
Koivu	-0.09	0.83	-0.09	0.94	-0.19	1.02

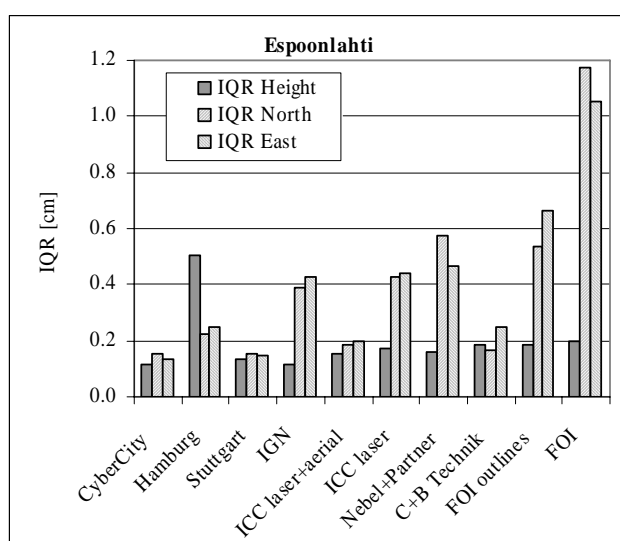
Tiheillä aineistoilla jopa yksittäisten puiden pituuskasvu voidaan määrittää noin 40-50 cm tarkkuudella (Maltamo ym. 2004).

Geodeettisen laitoksen koordinoiman ja vuonna 2003 alkaneen EuroSDR:n koetyön "Building Extraction" tavoitteena oli vertailla eri aineistojen ja menetelmien avulla tuotettujen kaupunkimallien laatua, tarkkuutta, käyttökelpoisuutta ja taloudellisuutta. Koetyöstä kiinnostuneilla oli mahdollisuus käyttää laserkeilaus- ja ilmakuva-aineistoja neljältä eri koealueelta, joista kolme oli Suomesta ja yksi Ranskasta. Suomen koealueiden valinnan ja aineistojen valmistelun teki Geodeettinen laitos. Kaikkiaan 11 eri tahoa ympäri Eurooppaa palautti tuottamansa kaupunkimallit kevään ja kesän 2004 aikana. Palautettuja ja analysoituja malleja on yhteensä 38. Osallistujia olivat:

- CyberCity AG, Sveitsi
- Delft University of Technology, Alankomaat
- Hamburg University of Applied Sciences ja Nebel+Partner, Saksa
- Institut Géographique National, Ranska
- Swedish Defence Research Agency, Ruotsi
- University of Aalborg, Tanska
- C+B Technik, Saksa
- Institut Cartogràfic de Catalunya, Espanja
- Dresden University of Technology, Saksa
- Stuttgart University of Applied Sciences, Saksa

Kaupunkimallien lisäksi osallistujat toimittivat raportin, jossa he mm. kuvasivat käyttämänsä menetelmät, arvioivat lopputuloksen laatua sekä raportoivat mallien laadinnan ajan- ja rahankäytöt.

Kaupunkimallien analysoinnissa käytettiin kohteista mitattuja referenssipisteitä mallien geometrisen laadun määrittämiseen sekä kantakartta-aineistojen perusteella laadittuja rasterimaskeja mallien täydellisyyden arviointiin. Mallien tarkkuuksissa oli suuria eroja (vrt. kuva 8.). Tärkein lopputulokseen vaikuttava tekijä oli automaatioaste. Tarkimmat mallit tuotetaan edelleen manuaalisin tai semiautomaattisin menetelmin joko pelkkiä ilmakuvia tai sekä ilmakuvia että laserkeilausaineistoa käyttäen. Molempia aineistoja käytettäessä voidaan automaatioastetta nostaa ja näin säästää ajankäytössä etenkin yksinkertaisissa kohteissa. Monimutkaiset rakenteet vaativat runsaasti operaattorityötä, jotta lopputulos olisi järkevä (Kaartinen ym. 2005).



Kuva 8. Eri menetelmillä tehtyjen kaupunkimallin tarkkuus. IQR on interquartile range, joka kuvaa sitä etäisyyttä, joiden välille 50% virheistä sijoittuu. ICC laser+aerial perustuu TerraScan-ohjelmiston avulla tehtyyn malliin. Cybercity, Hamburg and Stuttgart olivat ilmakuvapohjaisia malleja.

4.2.4 Kustannukset

Laserkeilauksen kustannuksiin vaikuttaa vaadittu pistetiheys ja maastomallin tarkkuus ja siihen vaadittu prosessointi. Jos tyydytään tarkkuudeltaan luokkaa 50-60 cm olevaan maastomallin, työ voidaan toteuttaa mahdollisimman korkeilla lentokorkeuksilla ja hyvin automaattisella prosessoinnilla. Parantamalla prosessointia voidaan samasta aineistosta johtaa tarkkuudeltaan luokkaa 30 cm oleva maastomalli.

Sveitsin keilaus maksoi luokkaa 400 €/km². Baijerin osavaltiossa tehtävät keilauksen maksavat tällä hetkellä n. 90 €/km² noin 10 000 km² kokoisille urakoille, Tämä sisältää mm. maanpintapisteiden luokittelun. Saksan keilauksessa pyritään tiheyteen noin 1 pulssi per m². Voidaan myös mainita, että vuonna 2005 Geodeettisen laitoksen tilaamat korkealennot laserkeilaimella tutkimushintaan maksavat 50 €/km² (eivät sisällä luokittelua). Näillä lennoilla uskotaan saatavan maastomalli 20-30 cm tarkkuudella.

Hintaan vaikuttavat seuraavat tekijät

- vaadittu pistetiheys ja tarkkuus
- sallittu lentokorkeus ja keilauskulma
- miten prosessointi pyydetään tekemään
- kilpailutilanne
- alan yleinen kehittyminen ja mallien jatkuva halpeneminen
- yleinen hintataso/kuinka varakas maksaja on (Sveitsi ja Norja maksavat korkeimpia maksuja)

Karkea arvaus laserin avulla tehtävän kansallisen maastomallin kustannuksista ovat 100€/km², josta yli 50% arvioidaan kuluvan aineiston prosessointiin, laadun tarkastukseen ja lopulliseen laskentaan. Isoimmat hankkeet ovat Euroopassa olleet luokkaa 10 000 km²/v.

4.2.5 Päätelmiä laserkeilauksesta

Laserkeilauksesta voidaan tehdä seuraavia päätelmiä valtakunnallista korkeusmallia suunniteltaessa:

- Laserkeilaus on osoittautunut tarkaksi menetelmäksi metsäisten alueiden maastomallin määrittämisessä. Niinpä viime aikoina kansallisia malleja tehtäessä laserkeilauksesta on tullut merkittävä tekniikka.
- Haluttaessa tarkkuudeltaan 0,3-0,5 m oleva maastomalli, malli voidaan toteuttaa huomattavasti edullisemmin kuin aikaisempia valtakunnallisia laserkeilauksia on toteutettu.
- Suomessa on kansainvälisesti ottaen korkealaatuista laserkeilaustutkimusta GL:ssä, TKK:ssä ja JoY:ssä. Valtakunnallista laserkeilausta varten tulee optimoida keilausparametrit. Tätä tutkimusta on tehty GL:ssä ja TKK:ssa vuodesta 2001 alkaen.
- Jos keilaus on uuden korkeusmallin hyväksyttävä toteuttamistekniikka, tulee huomioida aineiston mahdollisuudet muiden sovellusten hyväksikäytössä.
- Suomessa on hyvä mahdollisuudet valtakunnallisen laserkeilausaineiston käsittelylle, koska johtava laserkeilausohjelmisto TerraScan on suomalainen.

4.3 SAR –interferometria

Myös SAR-interferometrian avulla voidaan tuottaa kohteesta korkeusmalli. SAR-interferometrian perustat ovat esittäneet Graham (1974), Goldstein ja Zebker (1987) ja Gabriel ja Goldstein (1988). Ensimmäiset interferometriatyöt on tehty nk. repeat-pass-interferometrian avulla, jossa sama kohde mitataan melkein samasta kohdasta tietyn ajan jälkeen. Satelliitit tyypillisesti lentävät likimain samasta kohdasta oman sille määritellyn kiertoradan mukaan. Repeat-pass-interferometrian ongelmana on sekä lentokone- että satelliittikäytössä se, että metsissä interferometrinen koherenssi putoaa hyvinkin nopeasti ja näin malli on vaikea laskea.

Satelliitista parhaat repeat-pass-interferometriatarkkuudet on saavutettu ERS-1/2 Tandem-mission aikana vuosina 1995-1996. Mm. Hyypä ja Engdahl (1999) analysoivat käyttäen laserkeilausaineistoa ERS-1/2-tandemilla tuotetun maastomallin tarkkuuden Suomen olosuhteissa. Keskivirheeksi saatiin 4,2 m ja 3,0 m 25 m ja 100 m pikselikoolla. Muut kokemukset osoittivat myös, että keskivirheet vaihtelevat voimakkaasti topografian muuttuessa ja mm. Lapissa korkeusmallin keskivirhe oli luokkaa 50 m. Timo Ikola (2001) teki satelliittisAR-kuvien avulla saatavien korkeusmallien tarkkuusanalyysiä diplomityössään.

Tehtäessä lentokoneesta single-pass-interferometrialla korkeusmallia päästään parempiin tarkkuuksiin. Menetelmä edellyttää kahden antennin käyttöä kuten USAn SRTM-missiossa. Menetelmän tarkkuudeksi ilman koetöitä voisi arvioida Suomen oloissa n. 1-3 m. Zhao ym. (2005) ilmoitti vastaavan laitteen tarkkuudeksi Kiinan olosuhteissa 3.6 m.

Interferometrian avulla tehtävän korkeusmallin ongelmakohtia ovat mm.:

- laitteistojen huono saatavuus,
- käytetty taajuus ja aallonpituus vaikuttavat mallin tarkkuuteen,
- hinta, laitteistoja maailmalla on vain muutama ja töitä ei voi kilpailuttaa samalla tavoin kuin esimerkiksi laserkeilauksia.

P-alueen SAR-tutka pystyy tunkeutumaan metsän lävitse maan pinnalle ja kasvillisuuden vaikutus on pieni. P-alueen SAR-tutka on käytössä Ruotsin puolustusvoimilla, mutta ei ole tietoa, onko se kykenevä single-pass-interferometriaan. Lentokone-SAR-interferometria on prosessoinnillaan hyvin raskasta. Oletus onkin, että kustannukset ovat samaa suuruusluokkaa kuin ilmakuvausella tehtävän korkeusmallin.

Lähdettäessä tekemään korkeusmallia SAR-interferometrialla Suomen metsäisissä olosuhteissa jouduttaisiin tekemään runsaasti tutkimustyötä tuntemattomien asioiden selvittämiseksi. Tutkimustyö kestäisi noin 4-5 vuotta, sen kustannukset olisivat mittavat eivätkä tulokset todennäköisesti poikkeaisi siitä mitä tässä on indikoitu. Samassa ajassa muut korkeusmallitekniikat kehittyvät nopeammin, koska ne ovat laajemmassa käytössä.

4.4 Olemassa olevat paikkatietoaineistot

Olemassa oleviin paikkatietoaineistoihin sisältyviä korkeustietoja voidaan käyttää tukena korkeusmalleja laskettaessa.

Olemassa olevia valtakunnallisia aineistoja jotka sisältävät korkeustietoja ovat MML:n ylläpitämät maastotietoaineistot. MML:n korkeusmallit on kuvattu edellä. Lisäksi MML:n maastotiedoilla on korkeusarvoja, joista saadaan tarvittaessa esimerkiksi taiteviivoja valtakunnalliseen korkeusmalliin.

Kunnilla, tiehallinnolla ja useilla muillakin toimijoilla on paikallisia korkeustietoja sisältäviä aineistoja, joiden tarkkuus on paikoitellen hyvinkin suuri, mutta ongelmana on lähinnä yhteensovitus muiden aineistojen kanssa. Tiehallinnossa käytettäviä korkeusmalleja on kuvattu edellä kohdassa 3.6. Kaupunkien aineistoista esimerkkinä on tässä yhteydessä esitetty Helsingin kaupungin aineistot, jotka edustavat ääripäätä siinä joukossa.

Merenkululaitoksella ja ympäristökeskuksilla on vesistöjen syvyystietoja merialueelta ja osasta sisävesiä (ks kohta 3.8 ja 3.10).

Ympäristöhallinnon tuottamia korkeustietoa sisältäviä paikkatietoaineistoja

Ympäristöhallinnon syvyyskartoitushankkeessa tuotetaan yleispiirteistä järvien pohjamuotoja kuvaavaa paikkatietoaineistoa sekä ympäristöhallinnon, että muiden tiedon tarvitsijoiden käyttöön. Pääasiallisina luotauskohteina ovat kooltaan 0,5 - 100 km² kokoiset järvet. Aineistoja ja niistä johdettuja karttoja käytetään niin vesien hoidon, käytön kuin suojelunkin tarpeisiin. Lisäksi

ympäristöhallinnolla on käytössä runsaasti eri projektien yhteydessä tuotettuja korkeustietoa sisältäviä paikkatietoaineistoja. Yksityiskohtaisia tulvavaarakartoituksia varten on teetetty tarkkoja korkeusmalleja fotogrammetrialla ilmakuvista tai laserkeilauksella. Vesistötöitä varten tehdään jatkuvasti maastomittauksia takymetrillä ja RTK-GPS-mittauksella. Uoman geometria (poikkileikkaukset) mitataan vesistötöissä käsin luotaamalla ja vaaitsemalla, takymetrillä tai kaikuluotaukseen ja GPS-paikannukseen perustuvalla linjaluotauksella.

SYKE on omaa käyttöään varten paikantanut ja korjannut karkeimpia nykyisen MML:n laatiman 25x25 m:n korkeusmallin virheitä kuten virheellisiä 0-arvoja (0-pikselialueita, 0-pikselikaistoja ppruutujen reunoissa), virheellisiä painaumuksia (jopa yli 200 m syviä kuoppia/kanjoneita), ylikorkeita korkeusarvoja (jopa yli 6 km:n korkeuspiikkejä). Nämä virheet on korjattu tasoittamalla DEM virhekohdissa naapuripikseleiden korkeusarvojen tasolle. Lisäksi DEM on tasoitettu vakavesien kohdalta.

Helsingin kaupungin tuottamat korkeusmallit

Helsingin kaupungissa tehtiin päätös kolmiulotteiseen kantakarttaan siirtymisestä jo 90-luvun lopulla ja samoihin aikoihin tehtiin suunnitelmia tarkan 3-D kaupunkimallin tuottamisesta koko kaupungin alueelta. Tästä huolimatta niin kustannus- kuin aikataulusyistä on kaupunkimittausosaston toimesta tuotettu tarkkuudeltaan ja yksityiskohdiltaan eriasteisia korkeusmalleja kaupungin laitosten suunnittelutarpeisiin lähtien karkeasta kaupunkimallista yksityiskohtaisiin tarkkoihin maastomalleihin.

Karkea kaupunkimalli

Lähtöaineistona ovat kantakartan 1 m:n korkeuskäyrät 0,5 m:n apukäyrät ja hajapisteet. Eriksseen on mallinnettu kadut ja siltatasot käyttäen hyväksi katujen 2d keskilinjoja ja kadun reunoja. Rakennukset on karkeassa kaupunkimallissa nostettu kantakartan pohjan, kerrosluvun ja arvioidun kerroskorkeuden mukaan. Terramodeller- mallissa on keskimäärin 5 pistettä/100 m² ja kolmiota noin 10/100m². DGN- mallia on käytön keventämiseksi harvennettu siten, että pisteitä mallilla on keskimäärin 1,5 pistettä/100m² ja kolmioita 3/100m³.

Kaupunkimallia on käytetty ja käytetään kaupunkisuunnittelussa yleissuunnittelussa päätöksenteon apuvälineenä sekä yksityiskohtaisen kaava-suunnitteluun suunnittelualan ympäristön kuvaamiseen. Lisäksi karkeaa kaupunkimallia käytetään liikenneväylien melumallien lähtöaineistona. Kantakartan korkeusaineistosta, korkeuskäyrästä ja hajapisteistä on tuotettu lisäksi ruutumalleja (10 m) koko kaupungin kattavan pienimittakaavaisen (1:10 000) ortokuvamosaiikin valmistukseen.

Tarkat maastomallit

Kaupunkimittausosasto valmistaa kaupungin laitosten tarpeisiin vuosittain lukuisia tarkkoja maastomalleja kooltaan aina muutaman tuhannen neliön tonteista aina kymmenien hehtaarien malleihin. Mallit tuotetaan pääsääntöisesti omalla digitaalisella stereokalustolla 1: 4 000 mittakaavaisista kuvauksista. Korkeustarkkuusvaatimus on yleensä alle 10 cm. Mittaus tapahtuu yleensä taiteviiva / hajapiste periaatteella ja pistetiheys on vaihdellut maaston pienipiirteisyydestä ja korkeuseroista riippuen aina 500:sta pisteestä aina 3 000 pisteeseen/hehtaari. Mallit yleensä täydennetään peitteisten alueiden osalla maastomittauksin. Tämän lisäksi mallia tarkennetaan usein rakenteiden osalta 3D - takymetrimittauksin.

Valtaosa tarkoista malleista tuotetaan katusuunnittelun tarpeisiin. Hyvin usein tarkkaa mallia edellytetään jo yleissuunnitteluvaiheessa.

Yhä useammin myös asemakaava-suunnittelun pohjaksi tuotetaan tarkka 3D-malli, johon lisätään vielä kolmiulotteiset rakennukset sekä kolmiulotteinen puusto. Keskusta-alueella puuston sijaintitarkkuus ja ominaisuustietovaatimus on siinä määrin korkea, että ne on mitattava maastomittauksin. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että tarkkoja malleja edellytetään kaikessa kunnallisteknisessä suunnittelussa kuten massojen laskennasta, maanalaisten tilojen, johtojen ja liikenneväylien suunnittelussa ja eriasteisessa kaava-suunnittelussa.

Hyvin usein näin syntynyt aineisto on "kertakäyttötavaraa", koska rakentamisesta johtuen maasto muuttuu oleellisesti eikä mallien hajanaisuudesta johtuen niiden ajantasaistusta ole voitu organisoida normaaliin karttatuotantoon. Jossain määrin aineistoa käytetään hyväksi 3D-kantakartan ajan tasalla pidossa sekä 3D-kaupunkimallin tuotannossa.

Lasermalli

Vuonna 1999 aloitettiin kaupunkimittausosaston toimesta ensimmäiset kokeilut tarkan kolmiulotteisen mallin tuottamiseen laserkeilauksella. Konsulttityönä tehty keilaus suoritettiin helikopterista 200 m korkeudelta pistetiheydellä 2 pistettä/m². Pisteiden luokitus ja mallin muodostaminen kaupungin NN- korkeusjärjestelmään suoritettiin kaupunkimittausosaston omana työnä. Tulokset olivat siinä määrin lupaavia että keilauksia jatkettiin lähes vuosittain. Viimeisin laserkeilaus suoritettiin syksyllä 2005, mikä kattaa noin 85 km² eteläistä rannikkoa ja keskistä Helsinkiä. Nykyinen aineisto kattaa yli 2/3 kaupungin manneralueesta. Laserkeilaus on tehty vuoden 2004 keilausta lukuun ottamatta helikopterista lentokorkeuksilla 100 m:stä 350 m:iin. Lentokoneesta suoritettu keilaus suoritettiin 600 m korkeudelta lähinnä ilmailumääräyksistä johtuen. Mallin tarkkuuden ja varmistamiseksi keilaus suoritettiin kyseiseltä alueelta ristiin lentona.

Laserkeilauksen kustannukset kyseisillä pistetiheyksillä ovat olleet noin 750€-2 000 €/km riippuen siitä onko toimeksianto tehty lentokoneella ja onko toimeksiantoon sisältynyt aineiston jälkikäsittelyä ja samanaikaista digitaaliortokuvien valmistusta.

Kaupunkimittausosaston toimesta suoritettujen analyysien perusteella aineistosta tuotetun koko mallin tarkkuus on keskivirheenä ilmaistuna noin 15 cm. Yksiselitteisten pintojen kuten asfaltin, kallion ja ruohikon tarkkuus on huomattavasti parempi. Maastomittaukseen perustuvassa vertailussa asfalttipinna tarkkuudeksi saatiin parhaimmillaan 0.03 m keskivirheenä ilmaistuna ja yleensäkin selvästi alle 10 cm. Tutkimuksessa päädyttiin tulokseen, että mallin tarkkuutta voidaan selvästi lisätä pistetiheyttä kasvattamalla sekä käyttämällä aineiston laskennassa geodeettisen laitoksen geoidimallin sijasta maastossa mitattuja "tukipistejoukkoja" (paikallinen geoidimalli). Ongelmana oli jonkin verran kopterikuvauksissa se, että parhaan lopputuloksen saamiseksi jokainen mittauserä olisi pitänyt laskea maan pintaan omana eränään. Vertailussa fotogrammetrisiin mittauksiin voitiin todeta laserkeilauksen tuottavan vähintäänkin yhtä hyvän tuloksen. Peitteisillä alueilla tulos on vielä moninkertainen.

Ensimmäisten tulosten perusteella myöhemmissä laserkeilauksissa pistetiheyttä on kasvatettu aina 10 pisteeseen / m². Lopullisia tarkkuustarkasteluja näiltä osin ei ole aineiston koosta johtuen vielä saatu.

Laseraineistoa on tarkoitus käyttää kaupunkimittausosaston omassa tuotannossa tarkan kolmiulotteisen kaupunkimallin tuottamisessa sekä kantakartan kolmiulotteistamisessa.

Lisäksi aineistoa on tarkoitus käyttää tulvaherkkien ranta-alueiden sekä erilaisten valuma-alueiden mallinnuksessa.

Yleisesti laseraineistoa on käytetty kunnallisteknisessä suunnittelussa samoissa tehtävissä kuin fotogrammetrista aineistoa. Ongelmana on ollut, että aineisto koostuu yksittäisistä luokittelemattomista pisteistä, joten erilaisiin yksityiskohtaisiin suunnittelutehtäviin sitä joudutaan täydentämään luokitelluin taiteviivoin. Yleensä täydennysmittaukset on suoritettu fotogrammetrisin menetelmin.

Yhdistelmämallit

Hyvin usein eri suunnitteluprojekteissa joudutaan yhdistelemään ominaisuuksiltaan ja tarkkuudeltaan erilaista tietoa. Esimerkiksi katusuunnittelussa edellytetään tarkkaa mallia katualueelta ja sen välittömästä läheisyydestä. Tämän lisäksi alueen ulkopuolelta tarvitaan kolmiulotteista tietoa, jonka tarkkuus voi olla heikompiakin. Näissä tapauksissa tarkka malli on muodostettu laseraineiston ja kohdekoodatun fotogrammetrisen aineiston yhdistelmästä jota on sitten reuna-alueiden osalta täydennetty joko karkealla mallilla tai korkeuskäyristä tuotetulla mallilla. Oleellista aineistojen yhdistämisessä on että erilaisin menetelmin tuotetut aineistot on koodattava. Manuaalisten editointien välttämiseksi aineistot eivät saisi tarkkuudeltaan kuitenkaan hyvin oleellisesti poiketa toisistaan.

Geologian tutkimuskeskus

Osana GTK:n turvetutkimuksia tuotetaan tietoa soiden pinnan topografiasta ja paksuudesta. tutkimuksissa mitatut korkeudet sidotaan valtakunnallisen kiintopisteverkon N60 – korkeustasoon.

Uusien geofysikaalisten lentomittauksien yhteydessä on ollut mahdollista tallentaa myös maanpinnankorkeus. Tätä aineistoa ja sen hyödyntämistä on tutkittu esimerkiksi Tansaniassa. Suomen mittakaavassa tämä ei kuitenkaan välttämättä tuo uutta tietoa verrattuna laserkeilauksella tuotettuun korkeusmalliin.

Merenpohjan alueelta GTK on tuottanut paikoittain tarkkaakin syvyysmallia, josta osa on kuitenkin maanpuolustuksellisista syistä salaista. Julkisesti saatavana oleva aineisto on melko epäyhtenäisesti kerätty, joten se sopii lähinnä tarkentamaan joiltain osin Merenkulkulaitoksen tuottamaa aineistoa.

4.5 Referenssejä valtakunnallisista korkeusmalleista

Ruotsi

Ruotsin maanmittauslaitoksesta saatujen tietojen mukaan heillä on suunnitelmissa aloittaa valtakunnallisen korkeusmallin uudistaminen (Klang). Nykyinen korkeusmalli Sverige DEM, on 50 m ruutumalli jonka keskivirheeksi on arvioitu 2 m. Ehdotettuna tavoitteena on Bas-DEM, TIN-muotoinen malli jonka korkeuskeskivirhe olisi parhaimmillaan 0,4 m. Siitä on tarkoitus johtaa edelleen 2,5 m, 5 m, 10 m ja 50 m ruutumallit joiden korkeuskeskivirhe olisi vastaavasti 0,5 m, 0,6 m, 0,8 m ja 2 m.

Uusi korkeusmalli ehdotetaan tuotettavaksi siten, että mittaustiedot saadaan eri osissa maata nykyisestä korkeusmallista, laserkeilauksella tai fotogrammetrisella mittauksella. Tuotannon aikatavoite on 5 vuotta. Päätöstä yllä esitetyn korkeusmallin tuottamisesta ei vielä ole tehty, vaan syksyllä 2005 Ruotsissa käynnistetään hanke jossa selvitetään korkeusmallin tarve, tarvittavat laatuparametrit ja niille asetettavat tavoitteet, korkeusmallin hinnoittelu, yms. asioita.

Sveitsi

Sveitsissä on vuosina 2000 – 2005 teetetty laserkeilauksella valtakunnallinen korkeusmalli niistä osista valtakuntaa joiden korkeustaso on alle 2000 m. Tavoiteltu korkeustarkkuus on +/- 50 cm, metsäisillä alueilla +/- 150 cm, ja näihin tavoitteisiin myös päästiin. Laserkeilauksen pistetiheys on noin $1p / 2m^2$. Urakointia varten maa on jaettu neljään urakka-alueeseen. Vuoden 2005 kevääseen mennessä koko maa oli saatu keilattua, mutta 50 – 70 % keilauslennoista oli jouduttu uusimaan. Ongelmat olivat pääasiassa johtuneet jyrkästä maastosta. Valmiin korkeusmallin kustannustaso oli noin 4 euroa / hehtaari (tiedot saatu EuroSDR-kokouksessa keväällä 2005).

Iso-Britannia

Vanha 10 m grid- korkeusmalli oli tuotettu 5 ja 10 metrin korkeuskäyristä. Se on osoittautunut riittämättömäksi, erityisesti tulvien ennakkoinnissa. Varsinkin vakuutusyhtiöt ovat pitäneet paremman korkeusmallin tuottamista tärkeänä. Uusi korkeusmalli on tuotettu siten, että maa jaettiin kolmeen laatuluokkaan, joista tuotettiin 2 m tai 5 m grid-malli, korkeustarkkuudeltaan 0,5 m, 1,0 m tai 2,5 m. Tästä tuotettiin edelleen hybridimalli, jossa grid-mallia parannettiin tarkimmilla alueilla laserkeilauksella.

Iso-Britanniassa on myös paljon pohdittu korkeusmallin käyttöön liittyviä kustannuskysymyksiä, koska korkeusmallin käytön on tarkoitus kattaa sen tuottamisen kustannukset.

Eri laatuista tiedoista yhdistämällä muodostetussa korkeusmallissa on käytetty ohjelmistona Inphon SCOP-ohjelmaa, jota oli jatkokehitetty yhdessä Wienin ja Stuttgartin yliopistojen kanssa. Kokemukset olivat hyviä (Warriner 2005).

Samaa SCOP-ohjelmistoa on käytetty myös ainakin **Itävallassa** eri laatuisten fotogrammetrisilla mittauksilla tuotettujen aineistojen yhdistämiseen. Ohjelmistolla voidaan tuottaa hybridimalleja, joissa grid-mallia on tarvittavilta osin täydennetty TIN-malliksi.

Valtakunnalliset laserkeilaukset on suoritettu myös **Hollannissa**. Useat **Saksan osavaltiot** tekevät omia keilauksiaan. Esimerkiksi Baijerin osavaltiossa aloitettiin korkeusmallin tuottaminen laserkeilauksella vuonna 1996. Menetelmän ja tuotettavan korkeusmallin parametreja on muutettu kuluneen 10 vuoden aikana useaan otteeseen, ja vuodesta 2006 alkaen on tarkoitus tuottaa 1 metrin ruutukoon korkeusmallia, jonka korkeustarkkuus on noin 10 cm. **USA:ssa** on useita osavaltioita keilattu. Useat maat suunnittelevat keilauksia tai keilauksien koordinoitua, jotta aineistot ovat muidenkin käytössä.

Kansallisissa laserkeilauksissa datan keruu on useimmiten tehty kilpailutuksella yritysten kesken, pistetiheys ja korkeusmallin tarkkuus on spesifioitu. Yritykset ovat mm. Sveitsissä tehneet pisteiden luokituksen ja karttalaitoslaitos on tehnyt spesifioinnin ja laadun arvioinnin. Sveitsin keilausten kokemuksia voi lukea LS2003 ja LS2005 konferenssien julkaisuista (esimerkiksi Artuso ym. 2003).

5 Yhteenveto odotuksista ja rajoituksista

5.1 Käyttäjien odotukset valtakunnalliselle korkeusmallille

Seuraavaan on listattu työryhmän työn yhteydessä esille tulleita korkeusmallin käyttäjien tarpeita yhteenvedon luontoisesti. Kuten listasta ilmenee, tarpeet ovat joiltakin osin ristiriitaiset.

- Korkeusmallin tulisi ulottua myös Suomen rajojen ulkopuolelle (jopa 20 km)
- Korkeustietoa tulisi olla myös meren ja järvien pohjasta, ainakin alle 5 (10) m syvistä vesialueista
- Nykyistä tarkempi resoluutio 10x10 m / 5 x 5 m, / 1 x 1 m
- Nykyistä parempi korkeustarkkuus +/- 1,0 m, / +/-0,5 m / +/-0,3 m / +/-0,1 m
- Suhteellinen korkeustarkkuus (tarkkuus naapuripisteiden kesken) tärkeää, < 50 cm.
- Korkeusmallin yksityiskohtaisuuden tulisi olla nykyistä parempi
- Nykyisessä korkeusmallissa olevia tarkkuus- ja luotettavuusongelmia ei saisi esiintyä
- Nykyistä parempi resoluutio ja pienempi korkeuskeskivirhe
- Pohjois-Suomessa erotuskyky voisi olla muuta maata heikompi, 20 – 25 m
- Olisi tarkoituksenmukaista mikäli aineistoa voitaisiin tuottaa erilaisilla tarkkuuksilta eri alueilta
- Maan kaikki alueet ovat korkeusmallilta vaadittavan tarkkuuden kannalta samanarvoisia
- Jos eri osista maata on olemassa tarkempaa mallia, olisi kuitenkin saatava jakelutuotteena korkeusmalli, jonka ruutukoko on koko maan alueelta yhtenäinen

- Korkeusmallien esitystavoista paras olisi hybridimalli, jossa mallin tarkkuus voisi vaihdella alueittain
- Korkeusmallissa pitäisi olla mukana maaston oleelliset taiteviivat ja huippupisteet
- Tien rakenteen erottuminen ympäröivästä maastosta tärkeämpää kuin absoluuttinen korkeus
- Korkeusmallissa esiintyvät järvien vesipinnat olisi tasoitettava
- Tasaisilla alueilla korkeusmallin tarkkuuden merkitys korostuu
- Maan kohoamisesta aiheutuvat korkeussuhteiden muutokset tulisi pystyä huomioimaan
- Uusi korkeusmalli pitäisi saada aikaan kohtuullisessa ajassa
- Korkeusmalli tulisi päivittää säännöllisesti
- Korkeusmallin ajantasaisuus
- Korkeusmalli on dokumentoitava hyvin, laatu- ja metatietojen suuri merkitys
- Tarvitaan tiedot korkeusmallin valmistumisajankohdasta, -tekniikasta ja tarkkuudesta
- Korkeusmallin tulisi olla saatavissa myös hajapisteistönä, josta voidaan tarvittaessa luoda kolmio-, ruutu- tai jokin muu malli
- Korkeustarkkuus on oltava testattavissa, jos siitä ei ole luotettavaa metatietoa
- Mallin täydellisyys ja eheys tärkeää
- Metatietojen tarkkuus ja syntyperätiedot

Korkeusmallin laatutason arviointia varten tärkeimmiksi laatutekijöiksi voidaan tunnistaa täydellisyys (ylimääräinen tieto ja puuttuva tieto), looginen eheys (arvojoukkoeheys, topologinen eheys), sijaintitarkkuus (absoluuttinen sijaintitarkkuus), ajallinen tarkkuus (ajanmukaisuus), historia-tiedot (alkuperätiedot, prosessointihistoria).

Korkeudenmittausmenetelmällä on vaikutusta sijaintitarkkuuden ohella myös muihin laatutekijöihin. Esimerkiksi laserkeilaus erottaa suurta pistetiheyttä käytettäessä melko hyvin pienikokoiset kohteet, kuten ojat ja tien luiskat. Korkeusmallin täydellisyys on silloin paremmin hallittavissa.

Täydellisyys ja looginen eheys

Korkeusmalliaineisto voi olla teknisiltä ominaisuuksiltaan valtakunnallisesti homogeeninen tai tarpeiden mukaisesti alueellisesti vaihteleva. Edellä kuvattujen odotusten perusteella Suomessa on tunnistettavissa sekä erilaisia alueellisia tarpeita että teknisesti yhtenäisen mallin tarve.

Aineistojen tuotannon ja laadun hallinnan kanalta on olennaista pystyä tunnistamaan ne alueet, joilla on yhtenäistä valtakunnallista mallia korkeammat vaatimukset. Näillä alueilla korostuvat eri käyttäjien yhteistyömahdollisuudet ja tarpeet eritasoisten mallien yhteensopivuudesta huolehtimisesta.

Sijaintitarkkuus

Yksityiskohtaisessa tulvavaarakartoituksessa suositellaan 2,5 m pikselikokoa (penkereen leveys 5 m), sillä GRID-muotoisen korkeusmallin pikselikoon on oltava puolet kapeimman penkereen leveydestä, jolloin vektorimuodossa penkerettä kuvaa yhtenäinen polygon (myös kun pengerkulkee 45% kulmassa). Yleispiirteisessä tulvavaarakartoituksessa riittänee huonomman korkeustarkkuuden takia 5 m pikselikoko.

Lisäksi tähän voisi tiivistää, että yleispiirteisten tulvavaarakarttojen (näitä karttoja tuotetaan lähitulevaisuudessa eniten) korkeustarkkuussuositus on 0,5 m ja erityisen merkittävältä tulvariski-

alueilta tuotettavien yksityiskohtaisten tulvavaarakarttojen korkeustarkkuussuositus on 0,3 m. Myös patojen vahingonvaaraselvityksissä käytetään tarkkoja korkeusmalleja.

0,5 m korkeustarkkuudella saadaan kuvattua tulva-alue riittävällä tarkkuudella, sillä 0,5 m virhe ei aiheuta vaaran asteessa merkittävää kasvua. Esimerkiksi jos vesisyvyudeksi on mallinnettu 0,4 m (1. syvyysvyöhyke 0...0,5 m) ja korkeusaineistossa onkin äärimmäinen 0,5 m virhe, jolloin vesisyvyys on todellisuudessa 0,9 m (2. syvyysvyöhyke 0,5...1 m), alueella pystytään edelleen liikkumaan kävellen kun virtausnopeus on alle 1 m/s.

Korkeustietoja käytetään myös yhä enemmän yhdessä muiden tietolähteiden, kuten erilaisten paikkatietojen ja kuva-aineistojen, kanssa, mistä syystä korkeustietojen sijaintitarkkuuden tulee vastata ainakin tärkeimmissä käyttömuodoissa käytettävien muiden tietojen sijaintitarkkuutta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että sijaintitarkkuuteen kohdistuvat vaatimukset vaihtelevat alueittain (kaupungit, tienrakennus, tulvavaara-alueet, erämaa-alueet).

Erilaisten paikkatietoaineistojen yhteiskäytössä korostuu niiden topologisen tiedon laatu. Korkeusmallin valmistusprosessissa on otettava huomioon se, että korkeusmallin ja muiden maastotietojen topologia vastaa toisiaan.

Ajantasaisuus (ajamukaisuus)

Korkeusmallin ajantasaisuutta pidetään yleisesti tärkeänä. Käytännössä korkeustietoihin aiheuttavat Suomessa muutoksia paikalliset pääasiassa rakentamisesta ja maa-aineksen ottamisesta aiheutuvat muutokset sekä maannousu.

Rakennus- ja muiden toimenpiteiden aiheuttamat muutokset korkeusmallissa tulisi päivittää vähintään samassa syklissä kuin muillakin maastotiedoilla. Käytännössä tämä tarkoittaa vähintään noin 5-10 vuoden ajantasaistusväliä, alueittain jopa lyhyempääkin.

Maannoususta aiheutuva ajantasaistustarve riippuu maannousun nopeudesta suhteessa käyttötarpeeseen. Tästä syystä tarve vaihtelee alueellisesti ja käyttäjien mukaan. Pohjanmaan tulva-herkillä alueilla, joilla nousu on nopeinta, päivitystarve on noin 10 vuoden luokkaa. Ajantasaistus voidaan toteuttaa tässä tapauksessa myös laskennallisesti ja/tai ottaa huomioon loppukäyttäjän sovelluksessa.

Korkeus- ja syvyystietojen yhteensopivuus

Korkeus- ja syvyystiedot on kartoilla perinteisesti esitetty käyrinä ja korkeutta tai syvyyttä kuvaavina lukuina. Maastokartoilla (maastotietokannassa) korkeuskäyrien sekä merikarttojen syvyskäyrien "nollataso" määräytyy merenpinnan keskitason mukaan. Samainen nollataso erottaa merialueet maa-alueista rantaviivan muodossa. Suomen tapauksessa tämä nollataso on yleisesti ottaen molemmissa tapauksissa yhtenevä, koska esimerkiksi Merenkululaitos käyttää lähtöaineistona Maanmittauslaitokselta hankimaansa rantaviivaa täydentäen sitä tarvittaessa kunnilta ja satamilta saamallaan tiedoilla. Sisävesien osalta tilanne on myös ongelmaton vaikkakaan nykyisissä tietovarastoissa referenssitaso, jonka suhteen syvyydet tai korkeudet on tallennettu, ei ole sama. Maaston korkeustiedot ovat edelleen sidottu keskimerenpintaan (pääsääntöisesti N60 -korkeusjärjestelmä), mutta Merenkululaitoksen tietopankissa olevien syvyystietojen referenssitaso vaihtelee vesistöittäin ja vesistöaltaittain ollen yleensä taso, joka määräytyy purjehduskauden alimman vedenpinnan tason mukaan.

Tiedot (esimerkiksi syvyysaineistot) ovat kuitenkin muunnettavissa korkeustietojen kanssa yhtenevään järjestelmään, joko nykyisin käytössä olevaan kansalliseen tai johonkin uuteen, globaalimpaan referenssitasoon.

Korkeus- ja syvyystietojen kattavuus (jatkuvuus) on ongelma etenkin niillä merialueilla, jotka ulottuvat rantaviivasta aina 10 metrin syvyysvyöhykkeelle saakka. Merenkululaitoksen nykyiset tietovarastot eivät sisällä riittävää syvyystietoa eikä nykyisissä suunnitelmassakaan ole hankkia syvyystietoja näiltä merenkululle ja muulle vesiliikenteelle toisarvoisilta, matalilta "rantavesiltä".

Merenmittauksiin käytettävä aluskalusto ei myöskään sovellu tällaisten alueiden syvyyskartoituksiin.

Nämä matalat vesialueet muodostavat kuitenkin suuren osan kansallisesta alueestamme pinta-alassa laskettuna ja niiden puuttuminen tulevasta korkeusmallista rajoittaisi mallin käyttöä esimerkiksi tulvaennusteissa, alueiden käytön suunnittelussa sekä rakentamisen pohjatietona, maanpuolustuksen, pelastus- sekä ympäristönsuojelun tehtävissä. Siten näiden alueiden syvyystietojen hankkimiseen tulisi varautua tai ottaa asia huomioon mm. mittausmenetelmiä valittaessa (lasermittaus) ja kustannuslaskelmia sekä aikatauluja laadittaessa.

5.2 Käyttäjien odotukset tuotantomenetelmälle

VMI:lle lasertieto on käyttökelpoista, jos tieto on hankittu VMI:n etenemiseen sopivalta ajankohdalta, keilausparametrit ovat metsäinventointiin sopivia ja tietoa pystytään hankkimaan toistuvasti määrävälein.

Metsäsuunnittelu voi hyödyntää korkeusmallin tuottamisessa kerättyä laserkeilausdataa, ainakin jos se on kerätty kesäkaudella.

5.3 Yritysten odotukset

Kaukokartoitus- ja paikkatietoalan yrityksille suunnattiin valtakunnallista korkeusmallia koskeva kysely. Kyselyyn vastasi 7 yritystä.

Kysymykset olivat:

- Mitkä käyttötarpeet tulisi ottaa huomioon suunniteltaessa valtakunnallisen korkeusmallin uudistamista?
- Mitä suunnitelmia organisaatiollanne on korkeusaineistojen tuottamisessa ja miten ne mahdollisesti voisivat vaikuttaa valtakunnallisen aineiston tuottamiseen ja ylläpitoon?
- Laserkeilaus on yksi potentiaalinen korkeustietojen keruumenetelmä tulevaisuudessa. Mitä suunnitelmia organisaatiollanne on laserkeilauksessa ja miten ne mahdollisesti voisivat vaikuttaa valtakunnallisen korkeusaineiston tuottamiseen ja ylläpitoon?
- Onko organisaatiollanne muita kommentteja valtakunnallisen korkeusmallin uudistamiseen liittyen?

Yhteenveto vastauksista on esitetty liitteessä 6.

5.4 Havaittuja rajoituksia

Eri osapuolet ovat tuoneet esille seuraavia korkeusmallin tuotantoon ja käyttöön liittyviä mahdollisia rajoituksia:

- Fotogrammetrinen menetelmä eikä maaston korkeusmallin tuottamiseen optimaalinen laserkeilaus pysty tuottamaan korkeustietoa matalien vesialueiden pohjasta.
- Käytettävissä ei ole varmaa tietoa mikä tulee olemaan laserkeilauksella tuotettavan korkeusmallin yksikkökustannus. Ulkomaiden referenssit antavat laajan haarukan ja kustannus riippuu lopputuotteen ja maaston ominaisuuksista.
- Fotogrammetrisella menetelmällä ei suomalaisen maaston peitteisyydestä johtuen pystytä tuottamaan täysin vailla karkeitä virheitä olevaa korkeusmallia
- Laserkeilauksen ajankohta vaikuttaa datan käyttökelpoisuuteen metsäsuunnittelussa ja korkeusmallin tuotannossa.

- Tarkemman valtakunnallisen korkeusmallin ja metsäsuunnittelun kohdealueet eivät ole välttämättä täysin yhteneväiset.
- Olemassa olevien korkeustietoaaineistojen käyttöoikeudet on huomioitava mahdollisessa yhteiskäytössä.
- Olemassa olevien korkeustietoaaineistojen laadun heterogeenisuus on selvitettävä ja huomioitava mahdollisessa yhteiskäytössä.
- Olemassa olevien ”suurimittakaavaisten” korkeustietoaaineistojen ajantasaisuus on huomioitava (aineistot kerätty usein suunnitelmien pohjaksi ja muuten ihmisen toimenpiteiden kohteena olevilta alueilta).

6 Vaihtoehtoiset menettelytavat valtakunnallisen korkeusmalliaineiston tuottamiseksi ja ylläpitämiseksi

6.1 Jatketaan nykyisen käytännön mukaisesti

Kuvaus

Tässä menettelytavassa valtakunnallista MML10-korkeusmallia valmistetaan ja jatkossa ajantasaistetaan fotogrammetrisiä menetelmiä soveltaen.

MML10-korkeusmallia valmistuu nyt noin 36000 km² vuosittain. Työtä oli tehtynä vuoden 2005 lopussa noin 165 000 km² ja tekemättä noin 205 000 km². Osa tästä alueesta on merialuetta. Korkeusmallia tehdään maastotietokannan perusparannuksen tai määräaikaisen ajantasaistuksen yhteydessä. Parhaimmillaan malli tulee tehtyä vuonna 2011, mutta määräaikaisen ajantasaistuksen ajoittumisesta johtuen todennäköisemmin vuonna 2012.

Korkeusmallin valmistusprosessia kehitetään niin, että korkeusmallissa ei olisi sen käyttöä haittaavia teknisiä virheitä.

MML10-korkeusmallin tekemisen yksikkökustannukset (kokonaiskustannukset) ovat viime vuosina olleet keskimäärin noin 80 €/km². Yksikkökustannuksesta on noin 80% maanmittaustoimistojen tekemää korkeusmallityötä ja loppu 20% kiintopistesignaalointia ja ilmakuvausten eri vaihteita. Edellä mainituilla yksikkökustannuksilla laskettuna koko Suomen alueen kattaminen MML10-korkeusmallilla tulee vaatimaan vuosina 2006-12 kustannuksia noin 16,2 miljoonaa euroa.

Fotogrammetrisen tuotantomenetelmän rinnalla suoritetaan laserkeilauksia erilaisia tarpeita varten eri ohjelmien mukaisesti. Keilausaineistot eivät ole yhteiskäytössä, joskin alueellista hankintayhteistyötä tehdään.

Kommentteja menettelytavasta

Maanmittauslaitoksen MML10- korkeusmalli ei tule riittämään kuin 1:100 000 tai sitä pienemmissä mittakaavoissa laadittaviin tulvavaarakartoituksiin. Tällä tarkkuudella laaditut tulvavaarakartat eivät ole riittäviä tulvariskienhallintasuunnitelmien laatimiseen. Tämä menettelytapa ei siis palvele tulvavaarakartoituksia.

Yleispiirteisten tulvavaarakartoitusten laatimista varten tarvittaisiin nykyisiä korkeusmalleja tarkempi korkeusmalli erityisesti vesistöjen rannoilta eli alueilta, jotka sijaitsevat alempana kuin keskivedenkorkeus + n. 10 m, GRID-malli, jonka resoluutio on 2,5 m ja korkeustarkkuus +/-50 cm (1. prioriteetti). Taajama-alueilta tarvittaisiin tarkka TIN-muotoinen korkeusmalli (sis. mm. teiden taiteviivat), korkeuskeskivirhe max. +/-20 cm (2. prioriteetti).

Yleispiirteisessä tulvavaarakartoituksessa on nykyisen käytännön mukaan käytetty korkeusaineistona lähinnä alun perin yleensä fotogrammetrialla laadittuja kaavoituksen pohjakarttoja (kantakarttoja). Yleensä kunnan korkeusaineisto saadaan maksutta käyttöön, kun kunta on mukana tulvavaarakartoitusprojektissa. Kunnat myyvät kanta-kartta-aineistoja hintaan 10 -1000 € / km². Kantakarttoja on tyypillisesti ylläpidetty vaihtelevasti vuosien saatossa. Mittausmenetelmät ovat muuttuneet vaaituskoneesta takymetriin ja uusimpana menetelmänä osa kunnista hyödyntää RTK-GPS-mittauksia. Myös kanta-kartan tarkkuusvaatimukset ovat tarkentuneet vuosien mitaan ja aineistot on digitoitu vähitellen numeeriseen muotoon. Vanhoihin kanta-karttoihin on näin ollen suhtauduttava kriittisesti. Epätarkkoja ja virheellisiä korkeuslukemia saattaa esiintyä. Vaikka korkeuskäyrät olisivat esimerkiksi metrin tai jopa 25 cm välein, eivät ne välttämättä mahdollisen karkean mittaus- ja interpolointimenetelmän takia kuvaa maastoa niin tarkasti kuin käyrien tiheydestä voisi olettaa. Tulvavaarakartoituksen työaikaan vaikuttaa merkittävästi se, miten paljon korkeusmallin laatiminen vie aikaa kanta-kartasta ja maastomittauksista. Korkeusmallin laatiminen saattaa viedä aikaa viikosta pariin kuukauteen.

6.2 Käynnistetään valtakunnallinen laserkeilausohjelma

Kuvaus

Tässä menettelytavassa koko valtakunnan alue laserkeilattaisiin tärkeimmät käyttötarpeet huomioivan keilausmenetelmän avulla ja keilaus toistetaan tarvittaessa niillä alueilla, joilla tarvitaan seurantatietoa. Menetelmä voi tuottaa erilaista aineistoa eri alueilla, kuitenkin siten että eri alueiden yhteensopivuus on hallittua.

Ohjelma toteutettaisiin julkisena valtakunnallisena hankkeena ja/tai alueelliseen yhteistyöhön perustuvana hankekokonaisuutena. Valtakunnallinen yleiskäyttöinen aineisto olisi käytettävissä yleisten kartastotöiden mukaisiin tarpeisiin ja mahdolliset muut aineistot paikallisiin tarpeisiin.

Ohjelman kustannukset olisivat vuoteen 2015 mennessä yhteensä arviolta noin 30 miljoonaa euroa. Lisäkustannukset olisivat arviolta noin 20 miljoonaa euroa vuoteen 2015 mennessä (fotogrammetrisen menetelmän poistuminen huomioituna). Yhteistyön kustannukset voitaisiin tarvittaessa jakaa alueittain eri toimijoiden kesken yksityinen sektori mukaan lukien.

Kommentteja menettelytavasta

Jos valtakunnallisella laserkeilausohjelmalla tuotetaan edellä esitettyjä tarpeita vastaava korkeusmalli, palvelisi se erinomaisesti tulvavaarakartoituksia. Tulvavaarakartoitusten työaika saattaa jopa puoliintua, jos käytettävissä on valmis korkeusmalli. Yksityiskohtaisia tulvavaarakartoituksia varten ei tarvitsisi enää tilata yksittäisiä tarkkoja korkeusmalleja – korkeusmalli olisi valmiina käytettäväksi myös nopealla aikataululla.

6.3 Kehitetään nykyistä valtakunnallisen korkeusmallin tuotantomenetelmää ja yhteistyötä korkeustietojen hankinnassa

Kuvaus

Nykyisin tuotettava MML10-korkeusmalli täyttää useat käyttäjien vaatimukset, kunhan varmistetaan, että sen valmistusprosessissa otetaan huomioon laatu-arvioinnissa havaitut parannuskohdet. Osissa valtakuntaa tarvitaan kuitenkin tarkempaa mallia, jonka korkeustarkkuus on noin 50 cm:n luokkaa, ja luotettavuus peitteisessäkin maastossa MML10-mallia parempi. Lisäksi paikallisesti tarvitaan vieläkin tarkempia korkeusmalleja (kaupungit, rakennushankkeet yms.). Paikallisia aineistoja tulisi pystyä käyttämään mahdollisuuksien mukaan hyväksi valtakunnallisen korkeusmallin tuottamisessa ja ajantasaistuksessa.

Tässä menettelytavassa uuden valtakunnallisen korkeusmallin lähtökohtana käytettäisiin MML10-mallia ja sitä tarkennettaisiin vaiheittain uusia valtakunnallisia vaatimuksia vastaavaksi.

Uusi malli olisi siis rakenteeltaan hybridimalli, joka tuotetaan eri lähteistä saatavan hajapisteistön tai taitelinjoja kuvaavien pisteistöjen avulla sekä uusia tiedonhankintamenetelmiä soveltamalla. Tällaisen monesta lähtöaineistosta tuotettavan yhtenäisen korkeusmallin tuotanto edellyttää uuden tuotantoprosessin ja yhteistoimintatapojen kehittämistä.

Tiedonhankintamenetelmistä potentiaalisin on laserkeilaus. Muina menetelminä kyseeseen tulee myös tarkemman fotogrammetrisen mallin tuottaminen.

Alueet, mistä kiireellisimmin on tarkoituksenmukaista tuottaa uutta valtakunnallista korkeusmallia (priorisointi), määritellään perustettavassa korkeusmallituotannon koordinoitiryhmässä, jonka MMM kutsuu kokoon. MMM ja MML sopivat tulossopimuksessaan resurssit, jotka valtakunnallisen korkeusmallin tuottamiseen yleisten kartastotöiden puitteissa vuosittain käytetään.

Hybridimuotoisesta korkeustiedosta tuotetaan uuden tarkemman mallin lisäksi myös nykyisiä (10 ja 25 m) mallityyppejä ja tarvittaessa yleistetympiä malleja niitä tarvitseville käyttäjille. Hajapisteaineisto olisi saatavilla erillisenä tietoaaineistona jatkojalostamista varten.

Korkeusmalli on osa maastotietojärjestelmää, ja sen metatiedot määritellään nykyistä tarkemmin. Korkeusmallin metatiedot liitetään valtakunnalliseen paikkatietohakemistoon.

Kustannusero 6.1-kohdassa esitettyyn nykyiseen käytössä olevaan menettelytapaan syntyy:

- uuden tuotantoprosessin kehittämisestä
- fotogrammetrista MML10-mallin tuotannon korvautumisesta (-64 euroa / km²)
- uuden menetelmän kustannuksista, laserkeilaus (+ 100 euroa / km²)

Uuden menetelmän lisäkustannukset olisivat siis arviolta noin 40-50 €/km². Uutta mallia joudutaan mm. tulvakartoitusten vuoksi tuottamaan osittain sellaisilla alueilla, joilla on jo olemassa MML 10 -korkeusmalliaineistoa (vrt. liite 1.). Yhteensä uudella menetelmällä olisi tuotettava vuosina 2007-2012 arviolta noin 100 000 - 120 000 km² (n. 15 000 -20 000 km²/vuosi) ja kustannukset olisivat yhteensä noin 10 - 12 miljoonaa euroa (1,5 - 2 m€/vuosi). Näistä kustannuksista merkittävä osa voitaisiin kattaa nykyisen mallin tuotannosta vapautuvilla varoilla.

Kommentteja menettelytavasta

Kuten luvussa 6.1 todettiin, MML10 -korkeusmalli ei tule riittämään kuin 1:100 000 tai sitä pienemmissä mittakaavoissa laadittaviin tulvavaarakartoituksiin. Esitetyssä vaihtoehdossa tarkennettaisiin MML10 -korkeusmallia alueilta, joilta tarkempaa korkeusmallia erityisesti tarvittaisiin joko esimerkiksi laserkeilaamalla uutta aineistoa tai käyttämällä jo olemassa olevaa tarkempaa korkeusaineistoa (esimerkiksi kuntien kantakartat). Paikoin taajama-alueilta, joilla tulvan aiheuttama riski vahingoille on yleensä merkittävä, näin tuotetulla korkeusmallilla voitaisiin toteuttaa myös yksityiskohtaisia tulvavaarakartoituksia. Kuntien kantakarttojen tarkkuus on kuitenkin selvitettävä tapauskohtaisesti ja aineistoon on liitettävä metatiedot. Aineiston käsittely ja muokkaaminen käyttökelpoiseksi saattaa paikoin jopa maksaa enemmän kuin uuden tarkan korkeusmallin teettäminen etenkin, kun laajalla ohjelmalla saavutettaisiin huomattavia kustannussäästöjä yksittäisten kohteiden laserkeilaukseen verrattuna. Korkeusaineistojen yhteensovittamisessa niiden raja-alueilla saattaa olla myös ongelmia.

6.4 Vaihtoehtoisten menettelytapojen vertailu

Seuraavassa taulukossa (3) on arvioitu edellä kuvattuihin vaihtoehtoihin menettelytapoihin liittyviä vahvuuksia (+), heikkouksia (-), mahdollisuuksia (M) ja uhkia (U).

SWOT	Nykyinen menetelmä, 6.1	Valtakunnallinen laserkeilaus, 6.2	Nykyisen menetelmän kehittäminen ja yhteistyö, 6.3
Vahvuudet (+)	<ul style="list-style-type: none"> + prosessi on valmis + kustannukset tunnetaan + ei tarvita lisää rahoitusta + yhteensopivuus muiden MML:n maastotietojen kanssa 	<ul style="list-style-type: none"> + saavutettava korkeustarkkuus on MML10-mallia parempi + teknisesti kustannustehokas menetelmä korkeustiedon tuottamiseen + maastotietojen laatua voidaan parantaa + edistää kotimaisen alan yritystoiminnan markkinoita 	<ul style="list-style-type: none"> + MML10-malliin laitettujen kustannukset ja työ ei mene hukkaan + olemassa olevaa MML10-prosessia ei lakkauteta eikä tiedon tuotantoa siten vaaranneta + lisärahoitusta kohdennetaan vain niille alueille joista tarvitaan MML10-mallia tarkempaa mallia + tarkempaa mallia tuotetaan vain sieltä missä sille ilmenee käyttötarvetta + mahdollisuus ottaa uutta tekniikkaa käyttöön vaiheittain ja laajentaa tuotantoa käytössä olevien resurssien puitteissa + tuotantoa voidaan tehdä vuosittain eri määriä tarpeiden mukaan + osassa valtakunnan aluetta voidaan tehdä yhteistyötä laserdatan hankinnassa
Heikkoudet (-)	<ul style="list-style-type: none"> - laatu ei ole riittävä kaikkiin yleisiin tarpeisiin kaikilta alueilta (mm. tulvavaarakartoitukseen) - menetelmän tarkkuus on rajoitettu, korkeustarkkuutta ei voida parantaa - ei stimuloi paikkatietomarkkinoita - ei edistä uuden laserteknologian käyttöä Suomessa 	<ul style="list-style-type: none"> - kustannusten epävarmuus - muuttaa muiden maastotietojen ajantasaistusprosessia ja nostaa sen kustannuksia - moneen käyttöön tehtävä laserkeilausdatan keruu ei ole paras mahdollinen korkeusmallituotantoon (lehdellinen aika – lehdetön aika) -lisärahoitustarve - MML10-mallin tekemiseen käytetty työ ja kustannukset hukataan osittain - muut maastotiedot ja näin syntyvä uusi korkeusmalli joudutaan yhteensovittamaan ja se lisää kokonaiskustannuksia - jos uutta korkeusmallia tai laserdataa halutaan käyttää maastotietojen parantamiseen joudutaan maastotietojen ajantasaistusprosessia kehittämään - maksimaalisia hyötyjä ei voida saavuttaa nykyisten rakenteiden vuoksi 	<ul style="list-style-type: none"> - korkeusmallin korkeustarkkuus ja osittain muutkin ominaisuudet eivät ole homogeenisia maan eri osissa - maastotietojen ajantasaistusprosessia joudutaan kehittämään (samalla tavoin kuin 6.2 vaihtoehdossa)
Mahdollisuudet (M)		<p>M kerättyä laserdataa voidaan käyttää moneen tarkoitukseen ja siten jakaa kustannuksia</p> <p>M tuo mahdollisuuksia toteuttaa valtion tuottavuuden parannusohjelmaa</p> <p>M tekniikan nopea kehittyminen</p>	<p>M kerättyä laserdataa voidaan käyttää moneen tarkoitukseen ja siten jakaa kustannuksia</p> <p>M tuo mahdollisuuksia toteuttaa valtion tuottavuuden parannusohjelmaa</p> <p>M tekniikan nopeaa kehittymistä voidaan käyttää hyväksi täysimääräisesti</p>
Uhat (U)	U Yhteensopivuus tarkempien olemassa olevien tai syntyvien korkeusmallien kanssa	<p>U Jos hanke toteutuu alueellisena yhteistyöhankeena, on haastavaa saada yhtenäiset spesifikaatiot</p> <p>U Tilaus- ja hankintatoimen hallinta ja monimutkaisuus</p> <p>U Maahan syntyy uusia erillisiä korkeusmalleja joiden yhteiskäyttö ei käytännössä toimi</p>	

Taulukko 3. Vaihtoehtoisten menettelytapojen SWOT-analyysi.

7 Työryhmän suosittelema menettelytapa

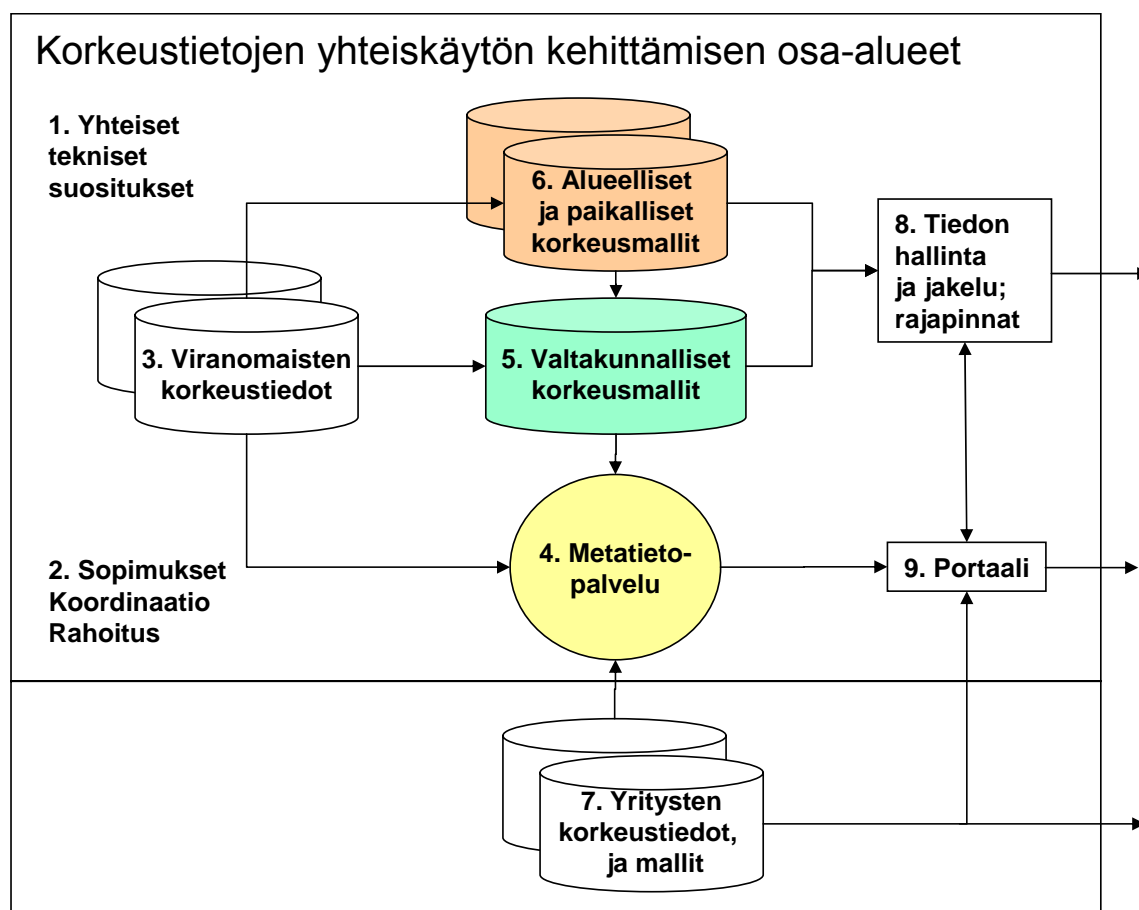
Kohdassa 6 esitetyn erilaisten lähestymistapojen vertailun perusteella työryhmä päätyi suositteluun menettelytapaa, jossa kehitetään nykyistä valtakunnallisen korkeusmallin tuotantomenetelmää ja yhteistyötä korkeustietojen hankinnassa ja ylläpidossa (6.3). Tässä kappaleessa suositeltua menettelytapaa ja siihen liittyviä osa-alueita kuvataan yksityiskohtaisemmin.

Eri käyttötarpeiden kuvausten ja referenssien perusteella korkeustietoon kohdistuu monia osin päällekkäisiä vaatimuksia, tarpeita ja odotuksia, joita ei voida toteuttaa yhdessä tiedonkeruuprosessissa tai yhden tietoaineiston avulla.

Moniulotteiset tarpeet voidaan käytännössä parhaiten ottaa huomioon ja tyydyttää kustannustehokkaasti kehittämällä yhteistyötä korkeustietojen hankinnassa, hallinnassa ja tietopalveluiden kehittämisessä.

Tarkastelussa on myös nähtävä erikseen eri tahojen tuottama korkeustieto (mittaukset, havainnot, keilausdata) ja tietoja yhdistelemällä valmistettavat korkeusmalliaineistot. Kehittämällä korkeustiedon hankintaa luodaan edellytykset nykyistä monipuolisempien ja ajantasaisempien korkeusmallien syntyiselle.

Kuvassa 9. on havainnollistettu korkeustietojen yhteiskäytön kehittämiseen liittyviä osa-alueita.



Kuva 9. Yleiskuvaus korkeustietojen yhteiskäytön kehittämisen osa-alueista.

Osa-alueiden tilaa ja kehittämistarpeita on kuvattu seuraavissa kappaleissa. Kuvan ja kappaleiden numerointi vastaavat toisiaan.

7.1 Yhteiset suositukset ja standardit

Yhteiset suositukset ja standardit ovat käytännössä edellytys yhteiskäytön toteutumiselle ja yhteiskäytöstä saatavien hyötyjen syntymiselle. Yhteisten ja hyvin määriteltyjen suositusten avulla voidaan lisäksi tehostaa aineistojen hallintaa ja tukea tietojen käyttöä erilaisissa sovelluksissa.

Yhteisten suositusten soveltaminen tulisi pystyä ulottamaan esimerkiksi tarjouspyyntöjen välityksellä myös yksityisten yritysten keräämiin aineistoihin ja niiden hallintaan.

Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät

Keskeinen osa korkeustietoja koskevista suosituksista ovat yhteisesti sovellettavat koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät.

Suomessa on otettu käyttöön uusi kansainvälisesti yhteensopiva koordinaattijärjestelmä (EUREF -FIN). Vuonna 2002 valmistui julkisen hallinnon suositus JHS 153, joka käsittelee ETRS89-järjestelmän mukaisia koordinaatteja Suomessa. JHS 153 on suunnattu paikkatietoineistojen ja -järjestelmien tuottajille ja siinä määritellään yleiseurooppalaisen ETRS89-järjestelmän realisaatio (EUREF-FIN) Suomessa. JHS 153:ssa annetaan myös ETRS89:n ja kkj:n välisen 7-parametrin muunnoksen parametrit. Lisäksi käytännön soveltamisen tueksi on laadittu JHS 154, jossa määritellään ETRS89 -järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatistot ja karttalehtijako.

Myös uusi kansainvälisesti yhteensopiva korkeusjärjestelmä (alustavasti N2000) on määritelty ja sitä koskeva julkisen hallinnon suositus on valmisteilla. Uuden järjestelmän käyttöönotto on tarkoitus käynnistää lähivuosina.

Näiden valtakunnallisten ja kansainvälisesti yhteensopivien järjestelmien lisäksi sovelletaan vielä edellisiä järjestelmiä ja monia paikallisia järjestelmiä. Näiden käytölle on erilaisia perusteita ja olennaista on jatkossa huolehtia siitä, että erillisjärjestelmissä olevat tiedot on muunnosten kautta saatettavissa yhteisen järjestelmän ja käytön piiriin.

Muut yhteiset suositukset

Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien lisäksi korkeustietojen, kuten muidenkin paikkatietojen yhteiskäytön kehittämisessä tarvitaan seuraavia yhteisiä suosituksia:

- metatiedon hallinta (JHS olemassa)
- laadunhallinta (JHS-luonnos olemassa)
- tietopalvelurajapinnan hallinta (JHS valmisteilla)
- laserkeilausmittausten kansallisia suosituksia (kommenttiversio julkaistu lokakuussa 2005 GL:n ja TKK:n toimesta, päivitetään vastaamaan laajempia laserkeilauksia vuonna 2007)
- korkeusmallien tuottaminen, mm. minimilaatutavoitteet valtakunnalliselle mallille (puuttuu)
- hallinta ja jakelu (puuttuu)

Yhteistyön toteuttamisen tueksi voidaan lisäksi laatia malleja yhteistyö- ja -hankintasopimuksista.

7.2 Sopimukset, koordinaatio ja rahoitus

Yhteistyön toteutuminen edellyttää asianmukaisia sopimuksia, joissa on määritelty yhteisten hankkeiden koordinaatio, vastuut ja rahoitus.

Valtakunnallisen korkeusmallin osalta yhteistyön kehittämisessä on avainasemassa yleisistä kartastotöistä vastaava Maanmittauslaitos. Alueellisten hankkeiden osalta kehittämissyhteistyössä korostuu mm. ympäristöhallinnon ja kuntien rooli.

Laserkeilaus on tuonut mukanaan uuden haasteen korkeustietojen yhteiskäytön kehittämiseen, koska menetelmällä voidaan tuottaa tieto samassa prosessissa sekä maaston korkeudesta että maastossa olevien kohteiden ominaisuuksista. Tässä tilanteessa mahdollisessa hankintayhteistyössä voidaan joutua hakemaan kompromisseja tuotantomenetelmän osalta. Tällöin on arvioitava kokonaistaloudellisin ratkaisuvaihtoehto ja otettava huomioon osaoptimoinnin sijasta koko prosessin kustannukset.

7.3 Viranomaisten yhteiset tiedonkeruuhankkeet, tietojen hallinnan ja yhteiskäytön kehittäminen

Korkeustietoja tuotetaan tällä hetkellä osana yleisiä valtakunnallisia kartastotöitä (MML) ja paikallisina erillishankkeina (kunnat, ympäristöhallinto, tiehallinto, metsähallinto). Tuotettavan tiedon ominaisuudet vaihtelevat käyttötarpeiden ja tuotantomenetelmän mukaan.

Periaatteessa kaikki viranomaisten tuottama korkeustieto voidaan nähdä valtakunnallisen korkeustiedon hajautettuna kokonaisuutena (valtakunnallisena korkeustietojärjestelmänä). Mitä yhteensopivammin tätä hajautettua tietokokonaisuutta ylläpidetään (= sovelletaan yhteisiä suosituksia ja tehdään yhteistyötä), sitä laadukkaampia yhdistelmätietoja voidaan tuottaa ja suuremman hyödyn käyttäjät voivat saada sekä sitä alhaisemmiksi tietojen ylläpitokustannukset voivat laskea. Kokonaisuuden tulisi olla arvokkaampi kuin osien summa.

Käytännössä hyötyjen saaminen edellyttää organisaatioilta aktiivisuutta ja tahtoa yhteistyöhön. Yhteistyö ei ole aina ongelmaton, koska kompromisseja saatetaan ainakin alkuvaiheessa joutua tekemään.

Myös yritysten omalla tuotannolla, hinnoittelupolitiikalla ja asennoitumisella hankintayhteistyöhön on ratkaiseva rooli yhteishankinnasta ja -käytöstä saatavien hyötyjen toteutumiseen. Viranomaisten yhteisten tiedonkeruuhankkeiden tulee osaltaan edistää alkanutta alan yritystoimintaa ja eikä niiden tulisi muodostua yritystoiminnan kanssa kilpaileviksi hankkeiksi.

Viranomaisten yhteinen tiedonkeruu on nähtävä yhteisenä tuottavuushankkeena, jolla pitkällä tähtäyksellä pyritään valtion resurssien säästämiseen ja yhteiskunnallisen vaikuttavuuden merkittävään kasvattamiseen kyseisellä rahoituspanoksella.

Edellä kuvattujen käyttötapojen perusteella Suomessa on hyvät edellytykset yhteistyöhön korkeustietojen tuottamisessa ja 'valtakunnallisen korkeustietojärjestelmän' kehittämisessä. Yhteistyön tulee olla organisaatioiden normaalia vuosittaista toimintaa, mikä tulisi ottaa huomioon mm. ministeriöiden toteuttamassa tuloshajauksessa.

7.4 Metatietopalvelun kehittäminen

Metatietojen avulla toisaalta kuvataan ja hallitaan organisaation tietoaineistoja ja toisaalta luodaan edellytyksiä erilaisten sähköisten hakemistopalvelujen kehittämiselle.

INSPIRE-direktiiviehdotuksessa edellytetään, että tiettyihin keskeisiin tietoryhmiin kuuluvien aineistojen, joihin myös korkeustiedot kuuluvat, metatietojen hallinta ja tietopalvelu on järjestetty tiettyjä periaatteita noudattaen. Mikäli direktiivi hyväksytään, tullaan toimeenpanon osalta myöhemmin antamaan tarkempia ohjeita.

Suomessa on metatietojen hallinnan ja hakemistopalveluiden ajantasaistaminen käynnistetty osana kansallisen paikkatietostrategian toimeenpanoa. Uusi metatietosuositus (JHS XXX) valmistui vuonna 2005 ja uuden metatietopalvelun kehittäminen on käynnissä. Uusi palvelu on tarjottu ottaa käyttöön 1.6.2006.

Korkeustietojen osalta metatietopalvelun kehittäminen tarkoittaa siis käytännössä tietoaaineistojen hallinnasta vastaavien organisaatioiden tehtävien ja vastuiden terävöittämistä ja huomioimista mm. tulosohjauksessa. Yritykset tulisi myös saada mukaan yhteisen palvelun sisällön tuottajaksi, jotta palvelusta olisi todellista hyötyä käyttäjille. Periaatteessa metatietopalvelu voi edistää yritysten aineistojen jakelua ja lisäarvotuotantoa (palvelua).

7.5 Valtakunnallisten korkeusmallien tuottaminen ja ylläpito

Tällä hetkellä Suomesta on saatavilla koko maan kattava peruskartan korkeuskäyristä valmistettu valtakunnan kattava malli (MML25) ja noin 45 % maasta kattava uusi malli (MML10).

Edellä esitettyjen kuvausten perusteella nykyinen peruskartan korkeuskäyristä valmistettu valtakunnan kattava malli (25 m) ei vastaa monia nykyisiä tarpeita. Maastotietotuotannon yhteydessä tuotettava uusi malli (10 m) koetaan jo huomattavasti käyttökelpoisemmaksi, mutta sekin ei tyydytä kaikkia yleisiä tarpeita riittävästi. Tarvetta vielä yksityiskohtaisempien mallien tuottamiseen on ainakin maan niissä osissa, joissa esimerkiksi rakentaminen on vilkasta ja tulvien todennäköisyys on suuri.

Uusi mittaustekniikka (lähinnä laserkeilaus) on muuttamassa voimakkaasti lähestymistapaa maaston ja erilaisten kohteiden muotoja (ja korkeutta) koskevien tietojen hankinnassa. Uusissa tiedonhankintaprosesseissa (esimerkiksi laserkeilauksessa), voidaan yhdistää sama tiedonhankinta palvelemaan useampaa käyttötarkoitusta (esimerkiksi metsien inventointia ja maaston korkeustiedon määrittystä). Tietoa voidaan periaatteessa myös hankkia nykyistä nopeammalla syklillä, mikä korostaa myös korkeusmallien päivittämisen tarvetta ja mahdollisuutta. Tarkkuustarpeiden kiristyminen edellyttää myös ylläpidon tehostamista, koska muuten tarkkuudesta saatava hyöty saattaa hukkaantua esimerkiksi rakentamisesta aiheutuvien maaston muutosten takia.

Korkeusmallin tuotannosta laserkeilaustekniikan avulla on MML:ssa tekeillä testityö, jossa selvitetään mm. korkeusmallin tuotannon integroitumista maastotietojen ajantasaistukseen (MML: Laserkeilaus-vaatimuskehitysprojektin loppuraportti 1.2.2006). Tavoitteena on tiedonkeruuprosessi, jossa uusien tekniikoiden (laserkeilaus, digitaalinen ilmakuvauus, automaattinen muutosten havaitseminen, ...) avulla voidaan parantaa paitsi tietojen laatua ja yhteensopivuutta, myös tuottavuutta oleellisesti. Testityössä pyritään selvittämään myös löytyykö laserkeilausparametreja, jotka soveltuvat sekä valtakunnallisen korkeusmallituotannon että esimerkiksi metsätaloussuunnittelun ja mahdollisiin muihin esille tuleviin tarpeisiin.

Kokonaan uuden tuotantoprosessin käyttöönotto edellyttää uuden valtakunnallisen korkeusmallin kohdemallin ja laatumallin määrittelyä. Näissä määrittelyissä on huomioitava kohdassa 7.1 mainitut suositukset ja standardit sekä käyttäjien uuteen korkeusmalliin kohdistamat tekniset ja laadulliset vaatimukset.

Edellä kuvattujen selvitysten perusteella on todettavissa, että koko maasta tarvitaan toisaalta teknisiltä ominaisuuksiltaan (ruutukoko, yleistystaso, ..) yhtenäisiä korkeusmalleja ja toisaalta alueellisesti tarpeen mukaan tarkentuvia malleja. Lisäksi valtakunnallisia korkeusmallituotteita pitäisi olla saatavissa erilaisessa muodossa (tin, grid, hajapisteistö, ..) erilaisiin sovelluksiin ja jatkojalostamisen pohjaksi.

7.6 Alueellisten ja paikallisten mallien tuottaminen ja ylläpito

Alueellisia ja paikallisia korkeusmalleja tuotetaan mm. kunnissa yleensä nykyistä tarkempia tietoja edellyttäviin tehtäviin, kuten rakennusten ja rakenteiden mallinnukseen, ja teiden suunnitteluun ja rakentamiseen).

Näissä tapauksissa laatu- ja toimitusaikavaatimukset ovat usein sellaisia, että niitä ei ole voitu tyydyttää valtakunnallisten aineistojen avulla. Toisaalta myöskään valtakunnallisia aineistoja ei ole tarkoituksenmukaista tuottaa koko maasta näiden korkeiden vaatimusten mukaisesti.

Osa alueellisista tarpeista voidaan tyydyttää myös valtakunnallisen aineistotuotannon yhteydessä, mikäli nämä alueelliset tarpeet osataan ja pystytään ottamaan huomioon tietoja kerättyä. Käytännössä tämä edellyttää yhteistyötä paikallisten toimijoiden ja valtakunnallisten toimijoiden kesken. Lisäksi tämä edellyttää valtakunnallisen ja alueellisen aineiston metatietojen ja laatumittarien yhdenmukaistamista sekä aineistojen yhteiskäyttöä tukevan datapolitiikan toteutumista.

Alueellisia tarkkoja korkeustietoja (esimerkiksi kuntien laserkeilausaineistojen tuloksia) voidaan hyödyntää yleistetympien valtakunnallisten mallien tuottamisessa. Tämä edellyttää yhteistyötä ja sopimista aineistojen yhteiskäytön pelisäännöistä. Käytännössä mahdollinen yhteiskäyttö on huomioitava jo alkuperäisten mittausaineistojen hankintasopimuksissa.

Tulevaisuudessa on mahdollista, että alueelliset ja paikalliset korkeusaineistot muodostavat osan valtakunnallisen korkeustiedon hajautetusta kokonaisuudesta (valtakunnallisesta korkeustietojärjestelmästä). Jotta tämä kokonaisuus olisi toimiva, on sovellettava yhteisiä suosituksia ja hallittava tietoa siten, että se on järkevästi saatavissa myös muuhun käyttöön. Alueellisten ja paikallisten aineistojen hallintaa ja tietopalvelua voidaan tarvittaessa kehittää myös yhteistyössä.

7.7 Yhteistoiminta yritysten kanssa

Yritykset ovat perinteisesti tuottaneet korkeustietoa lähinnä tilaustöinä rakennushankkeiden ja suurikaavaisten kartoitusten yhteydessä ja syntynyt korkeustieto on usein ollut väliaikaista tai jäänyt muuten uudelleen hyödyntämättä.

Kartoitusalan yritysten palvelutarjontaan kuuluvat erilaiset tiedonkeruumenetelmät, ja niitä täydentämään on viime vuosina voimakkaasti tullut myös laserkeilaus. Käytännössä yrityksillä on mahdollisuus tuottaa merkittävä osa korkeusmallien tuottamisessa käytettävästä raaka-datasta ja osin myös jalostetummasta aineistosta.

Tämä korostaa aineistojen hankintaan liittyviä syntyvien tietojen tekijän- ja käyttöoikeuksiin liittyviä kysymyksiä. Mikäli samaa mittausaineistoa on tarkoitus käyttää useampaan sovellukseen, on asiasta sovittava riittävän kattavasti jo hankintavaiheessa.

Pariaatteessa yritykset voivat myös hoitaa osan alueellisista tarpeista omien tuotteidensa avulla ja/tai pitkäaikaisilla ylläpitosopimuksilla. Tämä edellyttää yritykseltä riskinottoa ja hyvää tuotantokapasiteettia.

Euroopassa osa karttalaitoksista on ulkoistanut tiedonkeruutaan (Saksan osavaltiot, Hollanti, Tanska), osa tekee sitä edelleen pääsääntöisesti omana työnä (Itävalta, Irlanti, Ranska). Kokemukset yritysten palvelukyvyistä suurehkoissa hankkeissa ovat vaihtelevia, ja laadunvarmuuden ja –valvonnan merkitys on osoittautunut projektien onnistumisen kannalta ratkaisevaksi. Topografisesta perustiedonhallinnasta, Topographic Core Data, (sisältää mm. valtakunnallisen korkeusmallin) karttalaitokset kuitenkin poikkeuksetta vastaavat itse. Siitä tuotettavien tuotteiden ja palvelujen tarjonnassa sitä vastoin yrityksillä on usein tärkeä rooli.

Yritysten kanssa tehtävässä yhteistoiminnassa on otettava huomioon julkisia hankintoja koskevat avoimuus- ja kilpailutussäännökset.

Useat yritykset ovat osallistuneet laserkeilauksen t&k-projekteihin vuodesta 1997 alkaen. Suomessa on laserkeilauksen alalla maailmanlaajuista huippuosaamista, ja yhteistoiminta sen kanssa hyödyttää sekä yrityksiä että julkista sektoria.

Valmiin aineiston jakelupolitiikka ja hinta vaikuttaa merkittävästi yritysten mahdollisuuksiin käyttää aineistoa projekteissaan. Valtakunnallisen korkeusmalliaineiston jakelun tulisi olla yritysten lisäarvotuotantoa edistävää. Yhteinen aineisto tulisi olla kohtuullisen edullisesti tarjolla kaikille lisäarvoryrittäjille ja vapaan kilpailun tulisi mahdollistaa se, että loppukäyttäjät saavat parasta vastinetta rahoilleen. On lisäksi huomioitava, että Tekes ja Suomen Akatemia ovat panostaneet

kaukokartoituksen kehittämiseen Suomessa tavoitteena kehittää myös yritystoimintaa. Laserkeilauksesta saattaa tulla merkittävä lisämarkkina kaukokartoitusalueelle ja olisi suotavaa, että ne panokset, jotka kehitystyöhön on jo laitettu, kuten myös tulevat, tulisivat palvelemaan vapaan kilpailun kautta koko yhteiskuntaa.

Ongelmana Suomen osalta voidaan pitää kartoitusalan kilpailutilanteen heikkoutta, mikä voi osaltaan vaikuttaa tietojen yhteiskäytön toteutumiseen ja hintatasoon.

7.8 Tietopalveluiden kehittäminen

Mm. INSPIRE-direktiiviehdotus edellyttää viranomaisen hallussa olevien aineistojen jakelupalveluiden kehittämistä. Käytännössä tämä voi tulevaisuudessa tarkoittaa, että viranomaisten tulee huolehtia siitä, että aineistot ovat hyvin saatavissa standardeja rajapintatekniikoita käyttävien sähköisten tietopalvelujärjestelmien avulla. Rajapintoihin perustuva tietopalvelu voidaan nähdä keskeisenä osana edellä kuvattua valtakunnallista korkeustietojärjestelmää.

Moni nykyaikainen paikkatietojärjestelmä sisältää jo standardinmukaisia toimintoja tietopalveluiden järjestämiseksi. Saattaa kuitenkin olla tarkoituksenmukaista, että varsinkin alueellisten ja paikallisten aineistojen osalta jakelu toteutetaan yhteistyöhön perustuvien palvelujärjestelmien avulla.

Rajapintoja koskevien suositusten valmistelu (JHS) on Suomessa jo käynnissä. Taustalla on olemassa olevat kansainväliset standardit.

Tietopalveluihin liittyy myös maksullisuus. Aineistojen maksullisuuspolitiikkaan ei oteta tässä yhteydessä kantaa, koska se on ratkaistava osana laajempaa viranomaisten tietoaineistojen maksullisuutta koskevaa kysymystä. Voidaan kuitenkin todeta, että useat organisaatiot pyrkivät kattamaan ainakin osan tiedon tuottamisen kustannuksista tietojen myynnistä saatavilla tuloilla. Toinen vaihtoehto on pyrkiä jakamaan kustannuksia tietojen tuotantovaiheessa.

7.9 Yleisen tiedottamisen kehittäminen

Varsinaisten tietopalveluiden lisäksi on tarpeellista lisätä yleistä tietoisuutta korkeustietoa-ineistoista ja -palveluista. Käytännössä tämä voidaan helpoimmin tehdä ylläpitämällä verkkosivustoa, jossa kuvataan korkeustietojen tuotantoa, aineistoa ja palveluita sekä linkittämällä yhteen eri toimijoiden palveluita. Edellä kuvattu 'valtakunnallinen korkeustietojärjestelmä' realisoituu tässä yhteisessä portaaliassa, joka olisi samalla luonnollinen osa kehitteillä olevaa laajempaa valtakunnallista paikkatietoportaalia.

Tiedotusta tehostaa, mikäli yritykset tuottavat perustiedoista omia tuotteitaan ja palvelujaan, ja pyrkivät lisäämään niiden kysyntää kaupallisella markkinoinnilla.

8 Työryhmän suositukset jatkotoimenpiteiksi

Kohdassa 6 esitetyn erilaisten lähestymistapojen vertailun perusteella työryhmä päätyi suosittelemaan menettelytapaa, jossa kehitetään nykyistä valtakunnallisen korkeusmallin tuotantomenetelmää ja yhteistyötä korkeustietojen hankinnassa ja ylläpidossa. Suositeltavaa menettelytapaa ja siihen liittyviä osa-alueita on kuvattu yksityiskohtaisemmin kappaleessa 7.

Tässä kappaleessa on kuvattu yksityiskohtaisemmin ne suositeltuun menettelytapaan liittyvät toimenpiteet, joihin eri tahojen tulisi ryhtyä valtakunnallisen korkeustietojärjestelmän kehittämiseksi ja nykyistä parempien valtakunnallisten korkeusmallien aikaan saamiseksi.

8.1 Yhteiset suositukset ja standardit

Työryhmä esittää, että:

- Keskeinen osa korkeustietoja koskevista suosituksista ovat yhteisesti sovellettavat koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät.
- Asianomaiset ministeriöt ja organisaatiot ryhtyvät toimiin seuraavien puuttuvien yhteisten suositusten ja ohjeiden valmistamiseksi vuonna 2007:
 - o Yleiset ohjeet laserkeilauksen toteuttamisen tueksi (MMM/Geodeettinen laitos)
 - o Tekniset määrittelyt alueellisille ja valtakunnallisille korkeusmalleille, mm. mallien minimilaatuv vaatimukset (ks. kohta 8.5) (laaja yhteistyö).
 - o Käytännön ohjeet korkeustietojen hallintaa ja jakelun järjestämistä varten, mm. metatietojen ylläpito ja palvelurajapinnan kehittäminen (laaja yhteistyö)
 - o Malleja yhteistyö- ja -hankintasopimuksista (laaja yhteistyö, malleja laaditaan ensimmäisten toteutettavien yhteistyöhankkeiden yhteydessä)
- Uuden valtakunnallisen korkeusmallin tekniset vaatimukset ja yksityiskohtaiset määrittelyt valmistellaan yhteistyönä Maanmittauslaitoksen johdolla vuoden 2007 loppuun mennessä testitöiden valmistuttua. Teknisiin määrittelyihin sisältyy:
 - o korkeustietojen kohdemalli
 - o korkeustietojen laatumalli
 - o korkeustiedoista tuotettavat valtakunnalliset tuotemallit (budjettirahoitteisesti tuotettavat korkeusmallit)
 - o muita tuotemalleja käyttäjien tarpeiden mukaan
- Tavoitteena uusissa määrittelyissä on, että tieto vastaa nykyistä paremmin yleisiin tarpeisiin ja että tietoa voidaan tuottaa alueellisten yhteistyöhankkeiden yhteydessä.
- Lähtökohtana uusien määrittelyjen valmistelussa pidetään seuraavia seikkoja:
 - o nykyisten mallien (ruutukokoa 50 m, 25 m ja 10 m olevien) rinnalla aloitetaan nykyistä tarkemman mallin (ruutukoko enintään 5 m ja korkeuskeskivirhe yksiselitteisillä pinnoilla alle 0.5m) tuottaminen vaiheittain
 - o jatkojalostuksen pohjaksi on saatavilla myös hajapisteaineisto ja erityyppisiä malleja (tin, grid)
 - o yhteensopivuus maastokohteisiin ja syvyystietoihin säilytetään
 - o maannousun vaikutus voidaan tarvittaessa ottaa huomioon mallintamalla
 - o korkeusmallin ajantasaistustavoite on 6 vuotta. (Tekninen kehitys saattaa vaikuttaa merkittävästi tähän sykliin).

8.2 Sopimukset, koordinaatio ja rahoitus

Työryhmä esittää, että:

- Maa- ja metsätalousministeriö, Ympäristöministeriö, Liikenne- ja viestintäministeriö, Maanmittauslaitos, Merenkulkulaitos, Suomen Ympäristökeskus, kuntien edustajat ja mahdolliset muut organisaatiot muodostavat säännöllisesti kokoontuvan koordinaatioryhmän, jonka johdolla valmistellaan tarkennettu suunnitelma valtakunnallista korkeusmallituotantoa ja alueellisia tietotarpeita tukevan tiedonkeruuyhteistyön toteuttamiseksi ja seuraa suunnitelman toteutumista. Koordinaatioryhmän kokoonkutsujana toimii maa- ja metsätalousministeriö.

- Suunnitelma viimeistellään vuoden 2007 loppuun mennessä ja se sisältää:
 - o Kuvauksen yhteistyöstä ja sen tavoitteista sekä osapuolten rooleista ja vastuista
 - o Kuvauksen sovellettavasta menettelytavasta (tuotantomenetelmästä)
 - o Suunnitelman alueellisen tiedonhankinnan toteuttamisesta vuosille 2007-2020 alustavine kustannuksineen
 - o Liitteenä sovellettavat tekniset määrittelyt ja sopimusmallit
 - o Tiedottamissuunnitelman laajempaa verkostoa varten
- Suunnitelman valmistelun yhteydessä laaditaan yhteishankintaa koskeva sopimusluonnos, joka luo mallin yhteisten hankkeiden koordinaatiolle, teknisille määritelmille, vastuille ja rahoitukselle.
- Alueellisia hankkeita toteutetaan siten, että kaikki osapuolet hyötyvät yhteistyöstä. Rahoituslähteet säilynevät entisinä, mutta yhteistyön avulla sillä pyritään saamaan enemmän hyötyä kaikille osapuolille.

8.3 Viranomaisten yhteiset tiedonkeruuhankkeet, tietojen hallinnan ja yhteiskäytön kehittäminen

Työryhmä esittää, että:

- Valtakunnallisen ja alueellisen korkeustietotuotannon ja yhteistoiminnan käytännön ohjaus keskitetään Maanmittauslaitokseen.
- Yhteishankkeiden edistämisen lisäksi korkeustietoja keräävät organisaatiot (Maanmittauslaitos, ympäristöhallinto, tiehallinto, Merenkululaitos, ...) veloitetaan kehittämään omaa tiedonkeruutaan ja tiedonhallintaansa kansallisen paikkatietostrategian mukaisesti yhteisten suositusten ja ohjeiden pohjalta siten, että hajautettua tietokokonaisuutta voidaan hyödyntää nykyistä paremmin (valtakunnallisena korkeustietojärjestelmänä).
- Asianomaisten ministeriöiden tulee ryhtyä toimenpiteisiin yhteisten suositusten soveltamisen tehostamiseksi ja yhteistyön edistämiseksi ja edellyttää konkreettisia toimenpiteitä vuosittaisissa tulossopimuksissa.
- Yhteistoimintaa yritysten kanssa kehitetään siten, että niiden oma tuotanto muodostaa osan valtakunnallisesta kokonaisuudesta ja täydentää viranomaisten ylläpitämiä tietovarantoja.

8.4 Metatietopalvelun kehittäminen

Työryhmä esittää, että:

- Korkeustietoja keräävät organisaatiot (Maanmittauslaitos, ympäristöhallinto, tiehallinto, merenkululaitos ja ...) veloitetaan tarvittaessa tulosohjauksen avulla ottamaan käyttöön uudet metatietoja koskevat suositukset (JHS 158), päivittämään omia aineistojaan koskevat metatiedot ja toimittamaan aineistojaan koskevat tiedot sopivalla menettelyllä valtakunnalliseen paikkatietohakemistoon vuoden 2008 loppuun mennessä. Lisäksi näiden organisaatioiden tulee valmistautua mahdollisen INSPIRE-direktiivin asettamiin vastaaviin vaatimuksiin.
- Yritykset aktivoidaan esimerkiksi hankintasopimusten välityksellä metatietojen ylläpitoon ja niiden liittämiseen osaksi hakemistopalvelua.
- Metatietojen ylläpitoa ja tietopalvelua kehitetään Paikkatietoasiain neuvottelukunnan (PATINE) metatietojaoston yleisten suositusten mukaisesti.

8.5 Valtakunnallisten korkeusmallien tuottaminen ja ylläpito

Työryhmä esittää, että:

- Uuden korkeusmallin tuottaminen aloitetaan vaiheittain alueellisten tarpeiden, yhteistyön syntymisen ja nykyisen valtakunnallisen korkeusmallin ajantasaisuuden perusteella. Uuden mallin tuotanto kohdistetaan aluksi ensisijaisesti ympäristöhallinnon osoittamille tulvariski-alueille ja mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi alueille, joilla kehitetään metsäninventointia. MML10- mallin tuottaminen nykyisellä menetelmällä kohdennetaan siirtymävaiheessa alueille, joista uuden mallin tuottaminen ei ole ensivaiheessa todennäköistä.
- Tiedonkeruuseen suunnataan voimavaroja siten, että uusi malli on saatavissa pääosasta tiheään rakennetuista alueista ja tulvavaara-alueista viimeistään 2013. Tämä aikataulu edellyttää lisävoimavarojen osoittamista korkeustietojen hankkimiseen. Koko maasta uuden mallin tulisi olisi saatavilla vuoteen 2020 mennessä.
- Uuden korkeusmallin ajantasaistustavoitteet määritellään alueittain, tulvariskialueilla tavoitteena on 6 vuoden ajantasaistuväli. Tekninen kehitys ja yhteistyön laajuus saattaa vaikuttaa merkittävästi tähän sykliin.
- Maanmittauslaitos suunnittelee vuonna 2007 testityön perusteella uuden korkeusmallin tuotantoprosessin, jonka tavoitteena on tukea myös muiden maastotietojen ajantasaistamista.
- Rantaviiva-aineisto ajantasaistetaan maastotietojen määrävälisen ajantasaistuksen yhteydessä tarvittaessa yhteistyössä syvyys- ja rantaviiva-aineistoja tuottavien tahojen kanssa.
- Ranta-alueiden syvyystietojen (alle 5-10 m) keräämismenetelmiä pyritään kehittämään yhteistyössä, pyrkien parantamaan korkeus- ja syvyystietojen yhteensopivuutta ja mallien jatkuvuutta (eheyttä).
- Yhteistyön osapuolet kehittävät laserkeilausdatan keruussa, käsittelyssä ja laadunvalvonassa tarvittavia edellytyksiä ja resursseja siten, että riittävät edellytykset uusien mallien tuottamiselle ja yhteistyölle syntyvät.
- Varmistetaan ensivaiheessa tarvittavien ohjeistojen ja suositusten laatimiseen tarvittavat resurssit sekä menetelmien pitkäjänteiseen tutkimukseen tarvittavat resurssit.

8.6 Alueellisten ja paikallisten korkeusmallien tuottaminen ja ylläpito

Työryhmä esittää, että:

- Alueelliset ympäristökeskukset, kunnat, Tiehallinto, Maanmittauslaitos ja tarvittaessa muut toimijat veloitetaan kehittämään alueellista yhteistyötä ja luomaan pelisäännöt paikallisten yhteistyöhankkeiden toteuttamiselle.
- Tarkkojen paikallisten, lähinnä rakentamiseen ja sen ohjaukseen liittyvien korkeustietojen tuotannon ja yhteistyön kehittämisen päävastuu on kunnilla ja Suomen Kuntaliitolla.
- Valtakunnallisen ja alueellisen korkeustietotuotannon ja yhteistoiminnan käytännön ohjaus ja koordinaatio keskitetään Maanmittauslaitokseen.
- Yhteistyötä paikallisten ja alueellisten tiedonkeruuhankkeiden toteuttamisessa ja valtakunnallisten korkeusmallien tuottamisessa edistetään laajapohjaisen koordinaatioryhmän avulla (ks. 8.2).
- Kun alueellisen yhteistyöhankkeen edellytysten havaitaan olevan olemassa, Maanmittauslaitos kutsuu koolle alueellisen yhteistyöryhmän. Siinä sovitaan hankkeen toteutuksessa tarvittavat tehtävät ja vastuut, edellä mainittujen pelisääntöjen mukaisesti.

- Kukin osapuoli käyttää kerättyä tietoa vain omaa tarvetta vastaavien tietokantojen ja mallien ylläpitoon ja valmistamiseen, jotta paikalliset, alueelliset ja valtakunnalliset aineistot eivät kilpaile keskenään.

8.7 Yhteistoiminta yritysten kanssa

Työryhmä esittää, että:

- Yksityisten tuottajien aineistojen käyttöä pyritään tehostamaan yhteisen metatietopalvelun avulla.
- Julkisten viranomaisten tekemien tilausten yhteydessä edellytetään yhteisten suositusten soveltamista.
- Mikäli teknisesti ja taloudellisesti perusteltua, tehdään pitkäkestoisia sopimuksia yritysten keräämien korkeustietojen käyttöoikeudesta osana alueellisia ja valtakunnallisia malleja. On huomattava, että julkisten hankintojen säännösten mukaisesti koko palvelusopimuksen sisältö on määriteltävä jo tarjouspyynnön yhteydessä.
- Yritysten tulee voida suunnitella omia ansaintalogiikkojaan valtion varoilla kerätyn aineiston lisäarvotuotannolle. On nähtävä, että korkeustiedoista voidaan tuottaa mitä erilaisimpia tuotteita (sovellukset, laatu, formaatti vaihtelevat). Yritysten rooli tietopalvelujen tuottajana tulee mahdollistaa.
- Alan yritysten tuotekehitystä on pyrittävä tukemaan suuntaamalla esimerkiksi hankerahoi-
tusta tähän tarkoitukseen sekä kehittämällä julkisen sektorin ja ko. yritysten yhteistyötä.

8.8 Tietopalveluiden kehittäminen

Työryhmä esittää, että:

- Tietopalvelu toteutetaan Maanmittauslaitoksen ylläpitämien maastotietojärjestelmään liittyvien palveluiden lisäksi jokaisen erillisiä korkeustietoja ylläpitävän organisaation oman rajapinnan kautta, joihin paikkatietoportaalista pääsee käsiksi.
- Portaalipalvelun avulla (ks. kuva 9) asiakkaat voivat tarkastella eri lähteistä saatavissa olevien korkeustietojen ja -aineistojen metatietoja ja tilata palvelun piirissä olevia korkeusmallituotteita.
- Portaali kehitetään kansalliseen paikkatietohakemistoon liittyvänä osana vuosina 2007 – 2009. Kehittämistä koordinoi Paikkatietoasiain neuvottelukunta ja sen jaostot.

8.9 Muut suositukset ja jatkotoimenpiteet

Työryhmä esittää lisäksi, että:

- Korkeus- ja syvyystietojen yhteensopivuus saavutetaan tekemällä uudet mittaukset ja mahdollistamalla nykyisten aineistojen muunnokset, yhtenevään koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään. Jotta maaston ja vesialueiden (merialueet ja sisävedet) muodostama korkeusmalli olisi jatkuva, tulisi matalan veden alueet syvyysmitata tarkoitukseen soveltuvalla menetelmällä esimerkiksi laserkeilauksella ainakin niiltä alueilta kuin se arvioidaan tarpeelliseksi. Korkeusmalleihin toisi huomattavaa lisäarvoa niihin liitetty mahdollisimman tarkka vesistön pohjan topografia. Tällöin virtausmalleja varten, joita käytetään jokien vedenkorkeuksien

määrittäminen virtaamista esimerkiksi tulvamallinnuksissa, ei tarvitsisi tehdä enää erillisiä luotauksia.

- Koska laserkeilaus on selvästi potentiaalinen menetelmä valtakunnallisen korkeusmallin tuottamiseksi, olisi menetelmään liittyvien parametri-, prosessi- ja kustannuskysymysten vuoksi tehtävä riittävän laaja koetyö. Koetyö tulisi tehdä niin laajalta alueelta, että samalla voitaisiin selvittää laserkeilaukseen perustuvan korkeusmallin tuotannon prosessia MML:n maastotiedon keruun yhteydessä. Koetyön yhteydessä kerättävän laserdatan (havaintoaineiston) käyttökelpoisuutta metsäsuunnittelussa olisi myös selvitettävä, ja näin tutkittava kuinka tehokkaasti voidaan yhdistää korkeusmallin tuotannossa ja metsäsuunnittelussa käytettävän laserdatan keruuta. Koetyössä tulisi selvittää myös mahdollisuutta kerätä korkeustietoa vesistöjen rantaviivasta noin 10 metrin syvyysvyöhykkeelle asti.
- Uudet teknologiat voivat mullistaa myös korkeusreferenssin toteuttamismahdollisuudet lähitulevaisuudessa. Näitä ovat koko maata kattavan, tarkan korkeusperusrungon luominen GPS:n ja tarkan geoidin sekä maannousumallin avulla. Korkeusreferenssin ja korkeusmallin uudistaminen tulisi integroida siten, että valtakunnallinen korkeusmalli on sidottu valtakunnalliseen korkeusreferenssiin tarkan geoidimallin avulla. Uusien satelliittipainovoimamission ansiosta viimeksi mainittu voisi samalla olla kansainvälisesti yhtenäinen. Mahdollisuudet tiedonkeruun integroimiseksi tulee selvittää.

9 Ehdotuksen vaikutukset

9.1 Taloudelliset vaikutukset

Nykyisen valtakunnallisen korkeusmallin (10m) valmistamiseen on tarkoitus käyttää nykyistä prosessia käyttäen vuosina 2007 - 2012 noin 2,0 -2,5 miljoonaa euroa vuodessa ($170\,000\text{ km}^2 \cdot 80\text{€} / \text{km}^2 / 6\text{ vuotta}$). Arviolta lähes puolet tästä jäljellä olevasta tuotannosta voidaan korvata asteittain uudella menetelmällä, jolloin uuden prosessin käytettävissä olisi vuosina 2007 - 2012 vuosittain asteittain nousten noin 0,7 - 1,5 miljoonaa euroa.

Suurtulvatyöryhmän arvio tällä aikavälillä tarvittavasta työpanoksesta tulvakartoitukseen on noin 2 miljoonaa euroa määrärahaa sekä noin 100 htkk. Käytännössä määrärahaa kartoituksiin käytetään 0,1 - 0,5 miljoonaa euroa vuodessa. Arviolta noin puolet tästä työstä (0,1 - 0,2 M€/vuosi) voidaan säästää uuden valtakunnallisen korkeusmallin avulla.

Osa ympäristöhallinnon tulvakartoitukseen liittyvistä tarpeista kohdistuu sellaisille alueille, joilla on jo olemassa MML10 -korkeusmalliaineistoa (vrt. liite 1.), mistä syystä MML:n mallia joudutaan osittain tarkentamaan. Yhteensä uudella menetelmällä olisi tuotettava vuosina 2007-2012 arviolta noin 15 000 -20 000 km^2 /vuosi.

Työryhmän esittämän menettelytavan kustannusvaikutukset riippuvat uuden mallin tuottamisen aikataulusta ja hankintayhteistyön onnistumisesta. Uuteen toimintatapaan siirtymisessä on kolme perusvaihtoehtoa, joiden kustannusvaikutukset ovat erilaiset:

1. Hallittu vaiheittainen siirtyminen uuteen menettelytapaan 2007-2013
2. Nopeutettu siirtyminen uuteen menettelytapaan 2007-2013
3. Sopeutetaan tuotanto olemassa oleviin voimavaroihin

Hallitussa vaiheittaisessa siirtymisessä nykyisestä menetelmästä siirrettäisiin voimavaroja asteittain uuteen menettelytapaan ja käytettäisiin lisäksi muualta saatavissa olevia lisävoimavaroja (lähinnä tulvakartoitus). Uudella menetelmällä tuotetun aineiston määrä kasvaisi vaiheittain siten, että vuonna 2013 noin 40 % maasta on katettu uudella aineistolla. Hallittu siirtyminen edellyttää siirtymisen vaiheistuksesta riippuen noin 0,3 - 0,8 miljoonan euron vuosittaista lisärahoitusta.

Nopeutetussa siirtymisessä tulvakartoitukseen liittyvät tarpeet otettaisiin korostuneemmin huomioon ja uuteen menettelytapaan siirryttäisiin mahdollisimman nopeasti. Uudella menetelmällä tuotetun aineiston määrä kasvaisi vaihteittain siten, että vuonna 2013 noin 55 % maasta on katettu uudella aineistolla. Nopeutettu siirtyminen edellyttää siirtymisen vaiheistuksesta riippuen noin 0,8 - 2 miljoonan euron vuosittaista lisärahoitusta.

Mikäli uuden aineiston tuotanto sopeutetaan tiedossa oleviin käytettävissä oleviin voimavaroihin, ei tarvita merkittävää lisärahoitusta. Vuosittain tuotettavan uuden aineiston määrä riippuu yhteistyön laajuudesta. Nykyisten korkeusmallin tuottamiseen käytettävien voimavarojen suuntaamisella ja tulvakartoituksesta saatavalla lisärahoituksella voidaan saavuttaa asteittain noin 30 %:n kattavuus vuoteen 2013 mennessä tuotannon painottuessa kauden loppupuolelle.

Lähi vuosiin painottuvien tietotarpeiden (mm. tulvakartoitus ja metsäsuunnittelu) tyydyttäminen edellyttää lisävoimavarojen suuntaamista korkeustietojen tuottamiseen.

Merkittävimmit hyödyt syntyvät pääasiassa välillisesti laadukkaampien korkeustietoaineistojen käytön kautta. Tarkemmat aineistot luovat edellytykset paremmalle suunnittelulle ja varautumiselle kriisitilanteita, kuten tulvia, varten. Näiden hyötyjen täsmällinen arviointi on vaikeata, mutta pitkällä tähtäyksellä saavutetaan moninkertainen hyötyjen ja kustannusten suhde.

Konkreettisesti säästöjä on saavutettavissa vähennettäessä päällekkäistä toimintaa organisaatioiden välillä esimerkiksi EU-lainsäädännön edellyttämien tietoaineistojen tuottamisessa. Yhteistyön kehittämisen avulla esimerkiksi vesipuitteidirektiivin ja käsittelyssä olevan tulvadirektiivin kustannusvaikutuksia voidaan alentaa merkittävästi. Samalla luodaan hyvät edellytykset paikkatietojen käyttöä ja saatavuutta edistävän ns. INSPIRE-direktiivin käyttöönotolle.

Uusien menettelytapojen käyttöönotto edellyttää lisäksi kehittämisinvestointeja ja yhteistoiminnan koordinaation käytettävien resurssien vahvistamista. Kehittämisinvestointeja ovat teknisten määrittelyjen valmistaminen ja tuotantojärjestelmien kehittäminen. Näiden kustannukset ovat arviolta yhteensä noin 100 000 euroa. Kehittämistä voidaan toteuttaa osittain myös virkatyönä. Uuden tuotantoprosessin suunnittelu käynnistyy jo aloitetussa testityössä, jossa täsmentyvät myös menetelmän kustannusvaikutukset.

Korkeustietojen hankintaan (käytännössä laserkeilaukseen) liittyvän yhteistoiminnan kehittämisen ja toteuttamisen edellyttää ainakin alkuvaiheessa tehtävään erikseen kohdennettuja resursseja. Lisävoimavaroja tarvitaan erityisesti, jos alueellisen yhteistyön ja valtakunnallisen tuotannon koordinaatio katsotaan tarkoituksenmukaiseksi keskittää samaan organisaatioon. Koordinaatio edellyttäisi arviolta noin yhden henkilötyövuoden (1 htv) panostusta ainakin vuoteen 2010 saakka. Työ sisältäisi yhteydenpitoa eri osapuoliin, hankkeiden aikataulutusta, teknisten parametrien yhteensovittamista, tarjouskilpailujen toteuttamista, laadunvalvonnan suunnittelua, yms.

9.2 Toiminnalliset vaikutukset

Työryhmän esittämä menettelytapa edellyttää yhteistyön tiivistämistä korkeustietoja tuottavien ja käyttävien tahojen välillä ja yhteisten toimintatapojen käyttöönottoa. Maanmittauslaitoksen osalta menettelytapa edellyttää sen sopeutumista uuden menetelmän käyttöön ja korkeustietotuotannon koordinaattorin rooliin. Mikäli uuden aineiston tuottamiseen ei suunnata lisävoimavaroja, saattaa uuden menettelytavan käyttöönotto johtaa siihen, että nykyisen mallin tuotantoa joudutaan Maanmittauslaitoksessa jatkamaan suunniteltua pidempään osassa maata.

Alueellisen yhteistyön lisääminen valtakunnallisen korkeusmallin tuotannossa lisää sen vaikuttavuutta ja korkeustietojen parempaa monikäyttöisyyttä. Uuden valtakunnallisen korkeusmallin tuotanto on tarkoitus suunnata ensin niille alueille joissa sen tarve on suurin. Uuden mallin valmistamisen avulla voidaan tehostaa alueellisia korkeustiedon käyttöön perustuvia hankkeita

(esimerkiksi tulvakarttojen valmistus) ja mahdollisesti tuottaa uutta lähtötietoa muihinkin prosesseihin, kuten metsäsuunnitteluun, suojavyöhykkeiden kartoitukseen, peltokuvioiden tarkentamiseen yms.

Laserkeilauksen käyttöönotolla voidaan parantaa korkeusmallin tuotannossa ja maastotietojen perusparannuksessa käytettäviä prosesseja oleellisesti ja parantaa tuottavuutta.

Myös täysin paikallisesti toteutettavia korkeustiedonhankintaprojekteja helpottaa jos käyttöön saadaan yhteisesti hyväksytyt valtakunnalliset ohjeet korkeustietojen hankinnasta, laadusta, käyttöoikeuksista, jne. Ks. kohdat 7.1 ja 8.1.

Koska jatkossa valtakunnallinen korkeustietojärjestelmä koostuu useamman laatusista korkeustietoaineistoista, on metatietopalvelulla tärkeä merkitys järjestelmän toimivuuden kannalta.

9.3 Muut vaikutukset

Kaukokartoitusalan näkökulmasta uusi korkeustietotuotanto ja siihen liittyvä lisäarveteollisuus olisi merkittävä piristys kansallisille kaukokartoitusmarkkinoille ja tukisi merkittävästi kansallisen paikkatietostrategian toteuttamista.

On mahdollista, että useat muut Euroopan maat tekevät lähiaikoina samanlaisia päätöksiä ja suunnitelmia. Toiminnassa tulee huomioida, että suomalaiset vientiin suuntautuvat yritykset saavat voisivat kotimarkkinoista tarvittavaa lisäosaamista ja kilpailuetua näiden muiden maiden markkinoiden avautuessa.

10 Viitteet

- Ahokas, E., Yu, X., Oksanen, J., Hyypä, J., Kaartinen, H. ja H. Hyypä, 2005. Optimization of the scanning angle for countrywide laser scanning. Proceedings of ISPRS Workshop Laser scanning 2005, Syyskuu 12-14, 2005, Enschede, The Netherlands, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI(Part 3/W19): 115-119, CD-ROM.
- Artuso, R., Bovet, S. ja Streilein, A. 2003. Practical Methods for the Verification of Countrywide Terrain and Surface Models. ISPRS WG III/3 Workshop '3-D reconstruction from airborne laser scanner and InSAR data', Dresden, Saksa, 8-10 lokakuuta 2003. In: *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIV, part 3/WG13.
- Cramer, M, 1999. Direct geocoding - is aerial triangulation obsolete, Photogrammetric Week 1999, Stuttgart, 20-24 syyskuuta 1999, s. 59-70.
- Forsberg R., Keller K., Olesen A., Kääriäinen J., Ruotsalainen H., Lidberg M., Engfeld A., Aaro S. Solheim D., ja Gidskehaug A., 2001. Airborne Gravity and Geoid Survey of the Baltic Sea, Pres., IAG 2001 Scientific Assembly 2-7 syyskuuta 2001, Budapest, Unkari.
- Gabriel, A. ja Golstein, R., 1988. Crossed orbit interferometry - Theory and experimental results from SIR-B. International Journal of Remote Sensing, vol 9: 857-872.
- Golstein, R. ja Zebker H., 1987. Interferometric radar measurement of ocean surface currents. Nature 328: 707-709.
- Graham, L., 1974. Synthetic interferometer radar for topographic mapping. IEEE, proceedings, Vol 62: 763-768.
- Hyypä, H., Yu, X., Hyypä, J., Kaartinen, H., Honkavaara, E., ja P. Rönholm, 2005. Factors affecting the quality of DTM generation in forested areas. Proceedings of ISPRS Workshop Laser Scanning 2005, Syyskuu 12-14, 2005, Enschede, Hollanti, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI(Part 3/W19) : 85-90, CD-ROM.
- Hyypä, J. ja M. Engdahl, 1999. Verification of the capability of repeat-pass ERS-1/2 SAR interferometry to provide digital elevation models and the impact of tree height and canopy closure on SAR-derived terrain height in boreal forests, *The Photogrammetric Journal of Finland*, 16(2):16-26.
- Ikola, T., (2001). Korkeusmallien tuottaminen satelliittitutkakuvilta. TKK Fotogrammetria ja kaukokartoitus. 73 s.
- Ingberg K (2004): Puolustusvoimien paikkatietojen laatumalli. TKK Maanmittausosasto, lisensiaattityö.
- Kaartinen, H., Hyypä, J., Gülch, E., Vosselman, G., Hyypä, H., Matikainen, L., Hofmann, A.D., Mäder, U., Persson, Å., Söderman, U., Elmqvist, M., Ruiz, A., Dragoja, M., Flamanc, D., Maillet, G., Kersten, T., Carl, J., Hau, R., Wild, E., Frederiksen, L., Holmgaard, J., ja K. Vester, 2005. Accuracy of 3D city models : EuroSDR comparison. Proceedings of ISPRS Workshop Laser scanning 2005, Syyskuu 12-14, 2005, Enschede, Hollanti, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI(Part 3/W19) : 227-232, CD-ROM.

Klang D: Pilotprojekt Falun – Utvärdering för revidering av den rikstäckande höjdmodellen. Lantmäteriet.

Katila, M. & Tomppo, E. 2001. Selecting estimation parameters for the Finnish multisource National Forest Inventory. *Remote Sensing of Environment* 76(1): 16-32.

Kääriäinen E (1966): The second levelling of Finland in 1935-1955. Publ. 61 Finnish Geodetic Institute, Helsinki

Maltamo, M., Mustonen, K., Hyypä, J., Pitkänen, J. ja X. Yu, 2004. The accuracy of estimating individual tree variables with airborne laser scanning in boreal nature reserve. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(9):1791-1801.

Merenkululaitoksen julkaisuja 7/2005, Merikartoitusohjelma 2005 - 2015,
<http://www.fma.fi/palvelut/tietopalvelut/julkaisut/julkaisusarjat/>

Ollikainen M (2002): The Finnish geoid model FIN2000. In: Proceedings 14th General Meeting Nordic Geodetic Commission, pp 111-116, Espoo, Oct 2002, Kirkkonummi

Ollila, M., Virta H. ja Hyvärinen, V. 2000. Suurtulvaselvitys. Arvio mahdollisen suurtulvan aiheuttamista vahingoista Suomessa. Suomen ympäristö 441. ISBN 952-11-0795-2, ISSN 1238-7312.

Sanastokeskus TSK ry, Geoinformatiikan sanasto, Helsinki 2005.

Sane M., Alho, P., Huokuna, M., Käyhkö, J. & Selin, M. 2006. Opas yleispiirteisen tulvavaarakartoituksen laatimiseen. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Ympäristöopas 127. 74 s. ISBN 952-11-2162-9. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=175703&lan=fi>

Suomen ympäristökeskus: Ilmastomuutoksen sopeutumistutkimusohjelma vuosille 2006 – 2010, vaiheittain täydentyvä kuvaus, versio joulukuu 2005.

Suomen ympäristökeskus: FINADAPT-hanke:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=165502&lan=fi>

Timonen, R., Ruuska, R., Suihkonen, K., Taipale, P., Ollila, M., Kouvalainen, S., Savea-Nukala, T., Maunula, M., Vähäsöyrinki, E. & Hanski, M. 2003. Suurtulvatyöryhmän loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. Työryhmämuistio MMM 2003:6. 132 s.
http://www.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2003/tr2003_6.pdf.

Tomppo, E. & Halme, M. 2004. Using coarse scale forest variables as ancillary information and weighting of variables in k-NN estimation: a genetic algorithm approach. *Remote Sensing of Environment* 92: 1-20.

Tomppo, E., Katila, M., Moilanen, J., Mäkelä, H. & Peräsaari, J. 1998. Kunnittaiset metsävaratiedot 1990-94. *Metsätieteen aikakauskirja - Folia Forestalia* 4B/1998: 619-839.

Tomppo, E., Henttonen, H., Korhonen, K.T., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Ihalainen, A., Mikkilä, H., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 1998. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1968-97. Julkaisussa: Etelä-Pohjanmaa. Metsävarat 1968-97, hakkuumahdollisuudet 1997-2026. *Metsätieteen aikakauskirja - Folia Forestalia* 2B/1998: 293-374.

Tulvadirektiiviehdotus (http://europa.eu.int/comm/environment/water/flood_risk/)

Vermeer, M., Väisänen, M., and Mäkyne, J. (2004). Paikalliset koordinaatistot ja muunnokset (local co-ordinate systems and transformations). Publication 37, TKK Institute of Geodesy, Otaniemi, Finland.

Warriner T, Mandlbürger G (2005): Generating a New High Resolution DTM Product from various Data Sources. Fotogrammetrian viikon julkaisu.

Yu, X., Hyypä, J., Hyypä, H. ja M. Maltamo, 2004. Effects of flight altitude on tree height estimation using airborne laser scanning. International Conference NATSCAN 'Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment - Instruments, Processing Methods and Applications', 3-6 lokakuu 2004, Freiburg, Saksa, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVI(8/W2):96-101.

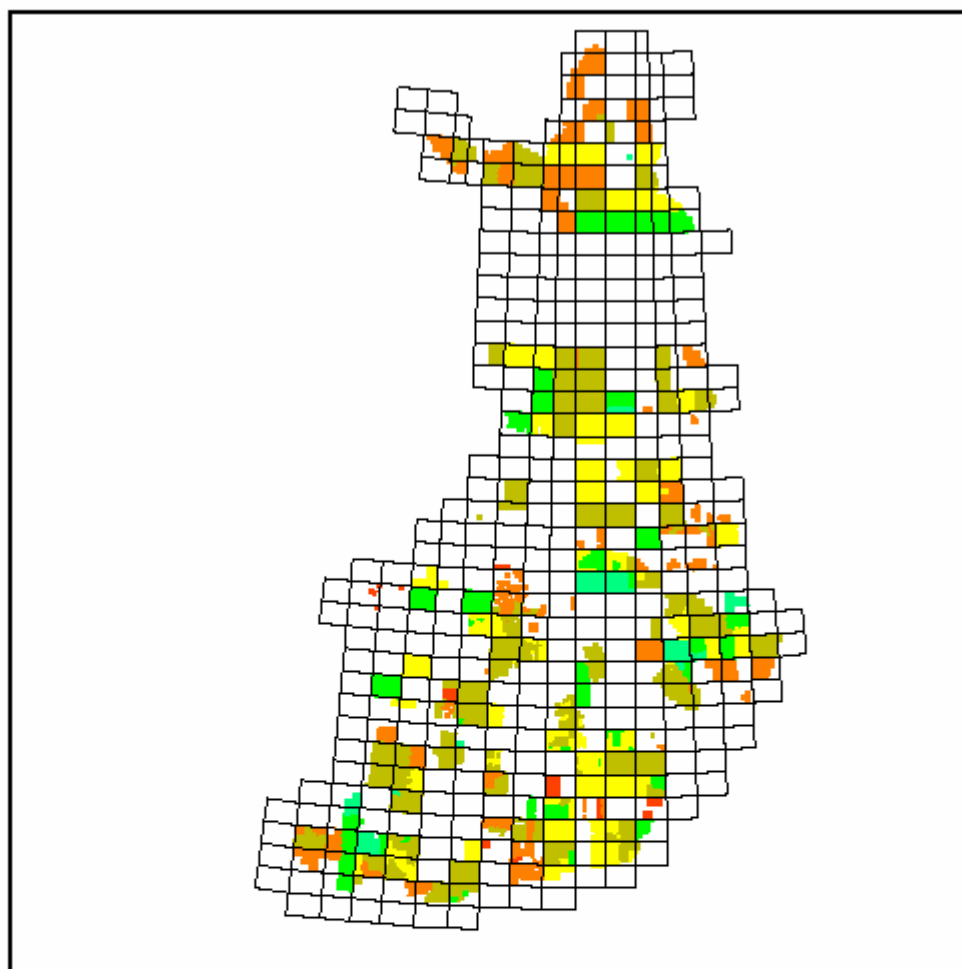
Yu, X., Hyypä, J., Kaartinen, H., Hyypä, H., Maltamo, M., Rönholm, P., 2005a. Measuring the growth of individual trees using multitemporal airborne laser scanning point clouds. Proceedings of ISPRS Workshop Laser Scanning 2005, Syyskuu 12-14, 2005, Enschede, The Netherlands, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVI(Part 3/W19) : 204-208, CD-ROM.

Yu, X., Hyypä, H., Kaartinen, H., Hyypä, J., Ahokas, E., ja Kaasalainen S., 2005b. Applicability of first pulse derived digital terrain models for boreal forest studies. Proceedings of ISPRS Workshop Laser Scanning 2005, Syyskuu 12-14, 2005, Enschede, Hollanti, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVI(Part 3/W19) : 97-102, CD-ROM.

11 Liitteet

Liite 1. Korkeusmalli MML10 –tilanne 30.3.2006

MASU–teemakarttatuloste



Mittakaava 1:7551912

Merkkien selitykset:

19950000	19951231
19960000	19961231
19970000	19971231
19980000	19981231
19990000	19991231
20000000	20001231
20010000	20011231
20020000	20021231
20030000	20031231
20040000	20041231
20050000	20051231
20060000	20061231
20070000	20071231
20080000	20081231
20090000	20091231

Kahde: YLJ–Indeksi
Ominaisuus: KM10:n rekisteröintipvm
Tarkastelupvm: 2006–03–30
(tilanne työsuorantakannassa)



MAANMITTAUSLAITOS

Copyright Maanmittauslaitos, 2006–03–30

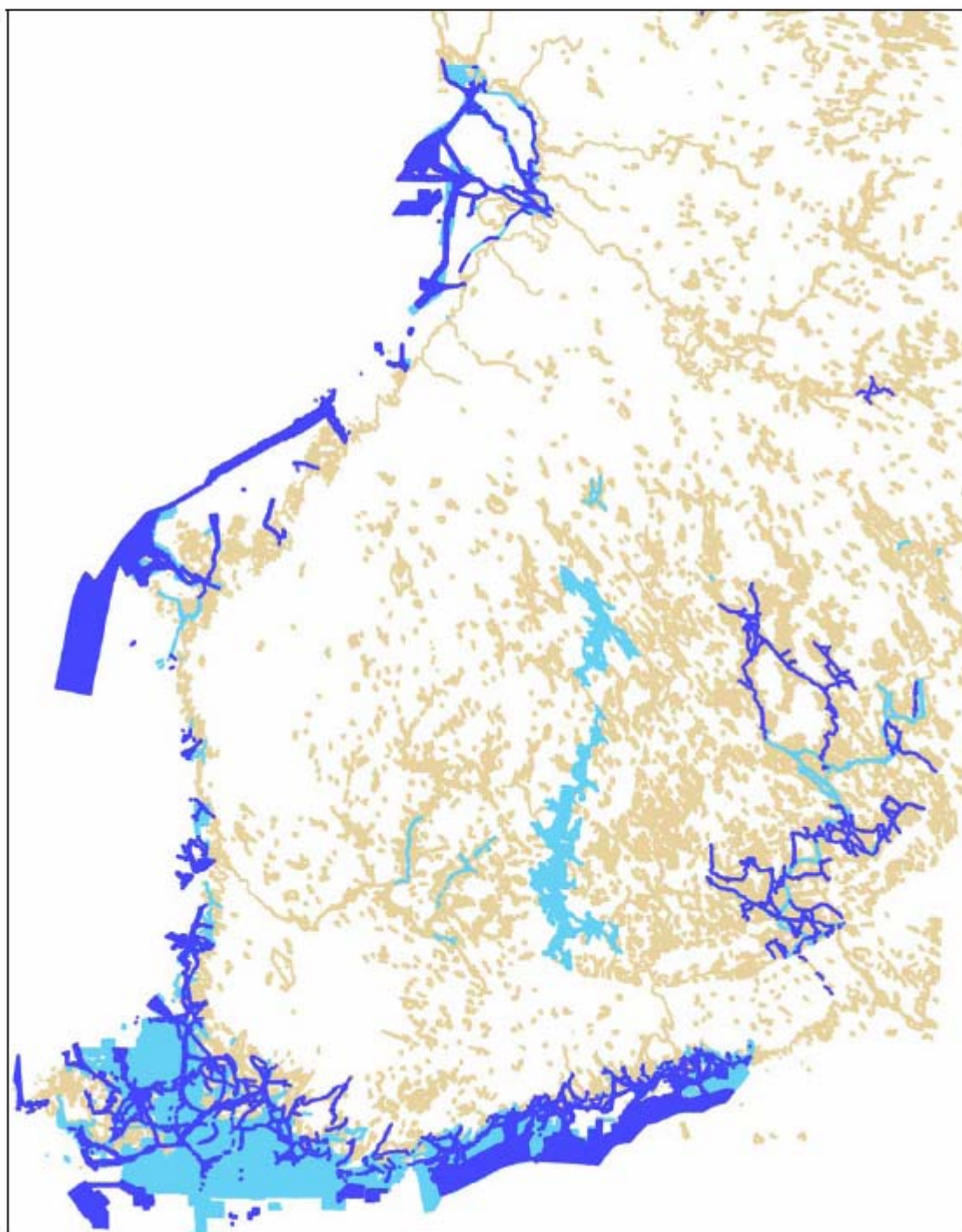
Liite 2. Merenkululaitoksen merenmittausaineistot



Merenkululaitos

MKL:n merenmittausaineistot, tilanne 2005

- Monikeilainmittaus
- Muu kaikuluotaus



Liite 3. Merkittävimmät tulvavahinkokohteet alueellisten ympäristökeskusten alueilla

Alueelliset ympäristökeskukset ovat tehneet merkittävistä tulvariskialueista selvitykset suurtulvaselvitykseen (Ollila ym. 2000) ja suurtulvatyöryhmän loppuraporttiin (Timonen ym. 2003). Selvitykset ovat laajuudeltaan, sisällöltään ja yksityiskohtaisuudeltaan vaihtelevia. Merkittäviä tulvariskialueita listattiin loppuraporttiin yhteensä n. 60, joista n. 40 on suppeita alueita, esimerkiksi taajamia tai teollisuuslaitoksia ja n. 20 laajempia alueita, esimerkiksi järviä tai jokivarsia (http://www.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiut/2003/tr2003_6.pdf, liite 1). Loppuraportissa esitetty lista on kuitenkin alustava ja alueiden määrä voi kasvaa lisäselvityksien myötä.

Merkittävät tulvariskialueet (Timonen ym. 2003) tullaan kartoittamaan jo muutaman vuoden sisällä lähinnä kuntien korkeusaineistoja käyttäen. Kartoitukset ovat käynnistyneet vuonna 2004. Vuoden 2006 alkuun mennessä on valmistunut n. 20 tulvakarttaa. Tavoitteena on, että vuoden 2006 loppuun mennessä olisi laadittu n. 30 tulvakarttaa. Luettelossa mainituille laajoille alueille, esimerkiksi järvet tai jokivarret, laaditaan ensin pienimittakaavaisia yleispiirteisiä tulvakarttoja, joiden pohjalta saadaan määritettyä merkittävät tulvariskialueet. Niille laaditaan edelleen tarkempia tulvakarttoja.

Luettelo tulee siis tarkentumaan lisäselvityksien myötä. Alueet, joilla tarvitaan ensisijaisesti tarkempaa valtakunnallista korkeusmallia, on listattava siinä vaiheessa, kun korkeusmallin tuotanto on varsinaisesti käynnistymässä. Tulvakarttojen tuotantoprosessissa otetaan huomioon, että korkeusaineisto tarkentuu myöhemmin huomattavasti nykyisestä. On tärkeää, että tulvakartat saadaan tällöin päivitettyä tarkemmalla korkeusmallilla, jolloin niiden tarkkuus parantuu. Myös ehdotetussa EU:n tulvadirektiivissä vaaditaan tulvakarttojen päivittämistä kuuden vuoden välein (http://europa.eu.int/comm/environment/water/flood_risk/).

UUDENMAAN YMPÄRISTÖKESKUS:

Vantaanjoki, Pirttiranta (kerran 20 vuodessa sattuva tulva yhdessä jääpadon kanssa kastelee 30 omakotitaloa)
Lohjanjärvi
Vantaanjoki, Oulunkylän siirtolapuutarha
Keravanjoki, Myraksen asuntoalue.

LOUNAIS-SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS:

Pori
Huittinen
Salo.

HÄMEEN YMPÄRISTÖKESKUS:

Tervakoski Oy:n pato sekä paperitehdas Janakkalassa
Muitakin kohteita saattaa löytyä, mutta niitä ei ole ehditty vielä selvittää. Viikonlopun (16.6.2002) rankkasateet osoittivat, että äkilliset rankkasateet saattavat aiheuttaa huomattavia vahinkoja Lahden kaupungin alueella.

PIRKANMAAN YMPÄRISTÖKESKUS:

Tammerkoski patoineen (niin sanottu Keskiputous ehkä merkittävin) on merkittävä vahinkokohte. Riski ei aiheudu patojen rakenteesta vaan ympäristön muuttuneesta käytöstä. Vaaratilanne syntyi muun muassa keväällä 1999 Alakosken padolla sähköhäiriön seurauksena. Vesimassat tulvivat läheisen kauppakeskuksen pihalle.

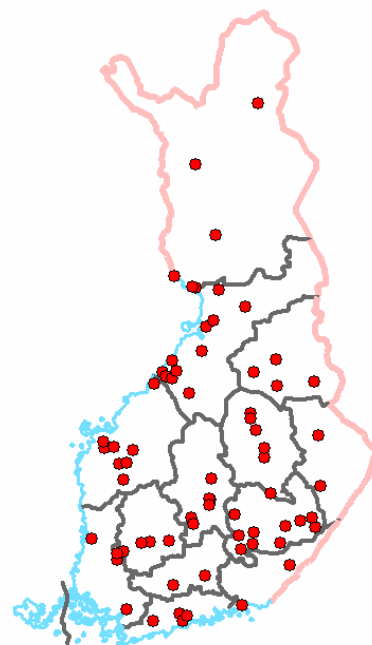
Nokian tehdasalueen Kymarnon pato, missä on havaittu suotautumista padon lävitse Iso-Längelmävesi (kokonaisvahingot runsaat 10 miljoonaa euroa, joista rakenteiden osuus noin 8 miljoonaa euroa). Vahingot koostuvat monista pienistä kohteista (kesämökkejä), yhtenäistä vahinkoaluetta ei ole.

Vammalan kaupunki.

Vahinkoja syntyy myös Äetsässä sekä hyytötulvien seurauksena että tulvavahinkoina rivitaloalueella.

KAAKKOIS-SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS:

Saimaan alueella teollisuus
Imatran ja Lappeenrannan kaupunkien tilanne edellyttää lisäselvityksiä
Kymijoen alaosa.



ETELÄ-SAVON YMPÄRISTÖKESKUS:

Savonlinnan kaupunki
 Mikkelin kaupunki
 Ristiina
 Punkaharjulla sijaitsevat suuret vaneritehtaat
 Saimaan rannalla sijaitsevat pienempien kuntien taajamat (muun muassa Puumala, Sulkava, Ristiina ja Kerimäki)
 Kangasniemi
 Hirvensalmi
 Mäntyharju.

POHJOIS-SAVON YMPÄRISTÖKESKUS:

Stora Enson Varkauden tehtaat
 Varkauden kaupunki
 Kuopion kaupunki
 Siilinjärven kunta
 Soinlahden sahan alue lisäalassa
 Olvin tehtaat lisäalassa
 Valion juustotehdas Lapinlahdella.

POHJOIS-KARJALAN YMPÄRISTÖKESKUS:

Pyhäselän- Oriveden alue (Saimaa)
 Pielisen/Pielisjoen alue.

KESKI-SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS:

UPM-Kymmenen Jämsänkosken ja Kaipolan tuotantolaitokset
 Jyväskylän kaupungin viemärlaitos ja Jyväskylän seudun jätevedenpuhdistamo
 Lutakon asuinalue Jyväskylässä
 Schauman-Wood Oy, Jyväskylä
 Suolahden kaupungin viemärlaitos ja alavat alueet kaupungin keskustassa.

LÄNSI-SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS:

Himangan taajama
 Laihian taajama
 Lapuan taajama
 Ilmajoen taajama
 Isokyrön taajama
 Seinäjoen taajama
 Jalasjärven taajama
 Vähäkyrön Merikaarron taajama.

POHJOIS-POHJANMAAN YMPÄRISTÖKESKUS:

Kalajoki: Kalajoen Rinnatie, Tynkä, Alavieskan ja Nivalan kuntakeskukset
 Pyhäjoki: Pyhäjoen kuntakeskus, Merijärven kuntakeskus
 Siikajoki: Mankilan-Paavolan alue
 Lakeuden alue: jokivarsien nauhamainen asutus
 Oulujoki: jokisuisto, Oulujoen sivujoet (muun muassa Utosjoki)

KAINUUN YMPÄRISTÖKESKUS:

Lammasjärvi
 Jormasjärvi
 Oulujärvi
 Iijärvi.

LAPIN YMPÄRISTÖKESKUS:

Rovaniemen alue
 Tornion alue
 Ivalon alue
 Simon alue
 Vientienjoen alue
 Kittilän alue

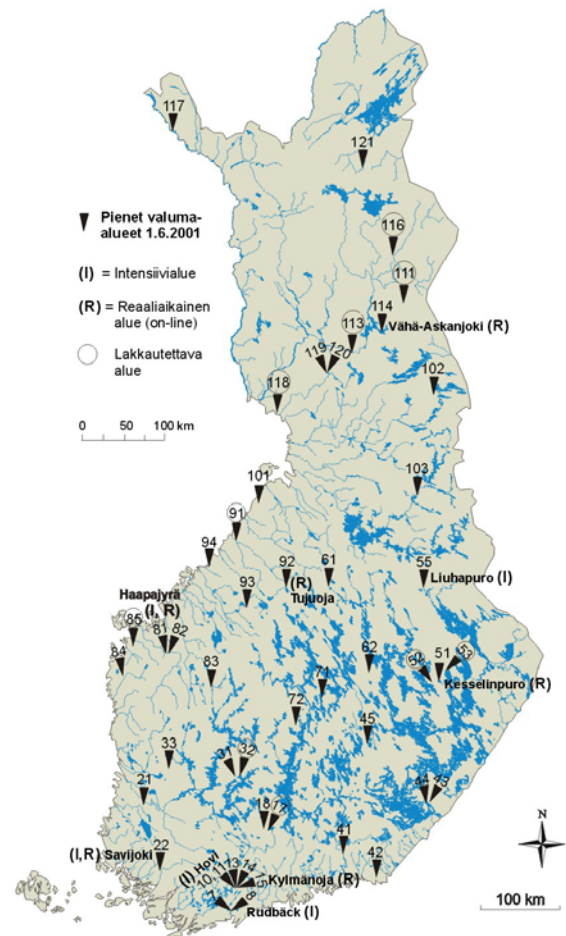
Valumavesien ja huuhtoutumien tutkimus

Vesistöjen tilaa, kuormituksen vaikutuksia ja kuormituksen vähentämismenetelmiä arvioidaan seuraamalla vesistöjen tilassa ja kuormituksessa tapahtuvia muutoksia sekä tutkimalla muutosten taustalla olevia hydrologisia ja biogeokemiallisia prosesseja ja aineiden kiertoa. Ympäristöhallinnon pienten valuma-alueiden tutkimusverkkoon kuuluu eri puolilla Suomea noin 40 aluetta, joista saatavaa tutkimustietoa käytetään mm. tuottamaan laskentamalleja eroosio- ja ravinne-

huuhtoutumien vaikutusten arvioimiseksi. Ko. alueilta tarvitaan tulevaisuudessa erityisen tarkka korkeusmalli (kiireellisimmät lihavoitu).

7	Rudbäcken1	Siuntionjoki, Siuntio
10	Hovi, Kaivo	Karjaanjoki, Vihti (sisältyy alueeseen 11)
11	Hovi	Karjaanjoki, Vihti
13	Yli-Knuuttila	Karjaanjoki, Vihti
14	Teeressuonoja	Karjaanjoki, Vihti
15	Kylmänoja	Karjaanjoki, Vihti
18	Löyttynoja	Lammi
21	Löytäneenoja	Kokemäenjoki, Kokemäki
22	Savijoki	Aurajoki, Tarvasjoki
31	Paunulanpuro	Kokemäenjoki, Orivesi
32	Siukolanpuro	Kokemäenjoki, Orivesi
33	Katajaluoma	Kokemäenjoki, Ikaalinen
41	Niittyjoki	Kymijoki, Valkeala
42	Ravijoki	Suomenl. rann.al., Virolahti
43	Latosuonoja	Vuoksi, Ruokolahti
44	Huhtisuonoja	Vuoksi, Ruokolahti
45	Juonistonoja	Kymijoki, Haukivuori
51	Kesselinpuro	Vuoksi, Outokumpu
54	Murtopuro	Vuoksi, Valtimo
55	Liuhapuro	Vuoksi, Valtimo
61	Korpijoki	Vuoksi, Kiuruvesi
62	Kohisevanpuro	Karttula
71	Ruunapuro	Kymijoki, Laukaa
72	Heinäjoki	Kymijoki, Korpilahti (lopetettu 2005)
81	Haapajyrä	Kyrönjoki, Ylistaro
82	Kainastonluoma	Kyrönjoki, Ylistaro
83	Kaidesluoma	Lapuanjoki, Alavus
84	Norrskogsdiket	Närpiönjoki, Närpiö
92	Tuujuoja	Kalajoki, Haapajärvi
93	Pahkaoja	Perhonjoki, Halsua
94	Kuikkisenoja	Peräm. rann.al., Kälviä
101	Huopakinoja	Peräm. rann.al., Patti-
	joki	
102	Vääräjoki	Vienan Kemi, Kuusamo
103	Myllypuro	Oulujoki, Hyrynsalmi
114	Vähä-Askanjoki	Kemijoki, Kemijärvi
116	Mylyoja	Kemijoki, Savukoski
117	Iittovuoma	Tornionjoki-Muonionjoki, Enontekiö
118	Kirnuoja	Peräm. rann.al., Simo
119	Ylijoki	Simojoki, Ranua
120	Kotioja	Simojoki, Ranua
121	Laanioja	Paatsjoki, Inari

LIITE 1. Pienten valuma-alueiden kartta



Liite 4. Sanasto

DEM, Digital Elevation Model, (Digitaalinen) korkeusmalli

Digitaalinen tieto topografiasta (ja syvyydestä) kaikissa esitysmuodoissaan, sekä menetelmä, jolla korkeus tallennettujen havaintojen välissä implisiittisesti tulkitaan. Esittää tavallisesti paljaan maan pinnan korkeutta ilman kasvillisuutta ja rakennuksia, mutta voi sisältää ihmisen tekemiä maarakennelmia, kuten pengerryksiä.

Yleisimmät korkeusmallin esitysmuodot ovat säännöllinen hila ja kolmioverkko (triangulated irregular network, TIN)

DTM, Digital Terrain Model, (Digitaalinen) maastomalli

Maastoa kuvaava digitaalinen malli, joka voi korkeustiedon lisäksi sisältää muuta tietoa, kuten esimerkiksi hydrologisen verkoston ja muita maaston taitelinjoja, maa- ja kallioperän ominaisuuksia sekä maan pinnalla olevia kohteita. Digitaalisen maastomallin tärkein osa on korkeusmalli.

DSM, Digital Surface Model, (Digitaalinen) pintamalli

Pintamalli on samankaltainen kuin korkeusmalli, mutta se kuvaa maaston ja sen päällä olevien kohteiden ylintä pintaa. Pintamallissa esitetään esimerkiksi puiden latvuston ja rakennusten katteiden korkeus.

Koordinaattijärjestelmä

Datumin ja koordinaatiston muodostama vertausjärjestelmä, jonka avulla kohteen sijainti voidaan ilmaista yksikäsitteisesti. Koordinaattijärjestelmä voi olla maailmanlaajuinen (esimerkiksi WGS 84 eli World Geodetic System 84) tai vain paikallisesti käytetty (esimerkiksi EUREF-FIN eli Suomen kansallinen koordinaattijärjestelmä). Järjestelmät perustuvat hieman toisistaan poikkeaviin *vertausellipsoideihin*.

ETRS89-järjestelmä (European Terrestrial Reference System) on kolmiulotteinen koordinaattijärjestelmä.

Geosentrisen koordinaattijärjestelmän origo on Maan massakeskipiste. Toposentrisessä koordinaattijärjestelmässä origona on havaintopaikka (Sanastokeskus).

Korkeusjärjestelmä

Järjestelmä, jossa *pisteen* korkeus voidaan ilmaista yksikäsitteisesti.

Korkeus mitataan keskimerenpinnasta.

Suomessa käytetään valtakunnallisissa töissä esimerkiksi N60-korkeusjärjestelmää, jonka nol-lataso on vuoden 1960 alun Helsingin keskimääräisen merenpinnan mukainen (Sanastokeskus 2005).

Metatieto

Tietoa kuvaileva tieto. *Paikkatiedon* metatiedon elementit on määritelty ISO 19115 – standardissa (Sanastokeskus).

Paikkatieto

Tieto *kohteista*, joiden paikka Maan suhteen tunnetaan (Sanastokeskus).

Liite 5. Suomalaisia vertaisarvioituja laserkeilausartikkeleita

Korkeusmalli

1. Ahokas, E., Yu, X., Oksanen, J., Hyypä, J., Kaartinen, H. and H. Hyypä, 2005. Optimization of the scanning angle for countrywide laser scanning. Proceedings of ISPRS Workshop Laser scanning 2005, September 12-14, 2005, Enschede, The Netherlands, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI(Part 3/W19): 115-119, CD-ROM.
2. Hyypä, H., Yu, X., Hyypä, J., Kaartinen, H., Honkavaara, E., and P. Rönholm, 2005. Factors affecting the quality of DTM generation in forested areas. Proceedings of ISPRS Workshop Laser Scanning 2005, September 12-14, 2005, Enschede, The Netherlands, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI(Part 3/W19) : 85-90, CD-ROM.
3. Yu, X., Hyypä, H., Kaartinen, H., Hyypä, J., Ahokas, E., Kaasalainen S., 2005. Applicability of first pulse derived digital terrain models for boreal forest studies. Proceedings of ISPRS Workshop Laser Scanning 2005, September 12-14, 2005, Enschede, The Netherlands, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI(Part 3/W19) : 97-102, CD-ROM
4. Ahokas, E., Kaartinen, H. and J. Hyypä, 2003. A quality assessment of airborne laser scanner data. ISPRS WG III/3 Workshop '3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data', Dresden, Germany 8-10 October 2003. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIV(3/WG13):1-7. An electronic version is available at http://www.isprs.org/commission3/wg3/workshop_laserscanning/
5. Hyypä, J., Pyysalo, U., Hyypä, H. and A. Samberg, 2001. Elevation accuracy of laser scanning-derived digital terrain and target models in forest environment. *20th EARSeL Symposium and Workshops*, Dresden, Germany, 14-17 June, 2000, 8 p, CD-ROM.
6. Hyypä, J. and M. Engdahl, 1999. Verification of the capability of repeat-pass ERS-1/2 SAR interferometry to provide digital elevation models and the impact of tree height and canopy closure on SAR-derived terrain height in boreal forests, *The Photogrammetric Journal of Finland*, 16(2):16-26.

Metsien inventointi

1. Maltamo, M., Eerikäinen, K., Packalén, P. and Hyypä, J. 2006. Estimation of stem volume using laser scanning based canopy height metrics. *Forestry*. In press.
2. Hyypä, J., Mielonen, T., Hyypä, H., Maltamo, M., Yu, X., Honkavaara, E., and H. Kaartinen, 2005. Using individual tree crown approach for forest volume extraction with aerial images and laser point clouds. Proceedings of ISPRS Workshop Laser Scanning 2005, September 12-14, 2005, Enschede, The Netherlands, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI(Part 3/W19) : 144-149, CD-ROM.
3. Maltamo, M., Eerikäinen, K., Yu, X., Pitkänen, J., and J. Hyypä, 2005. Identifying and quantifying structural characteristics of heterogeneous boreal forests using laser scanner data, *Forest Ecology and Management*, 216(2005):41-50.
4. Rönholm, P., Hyypä, J., Hyypä, H., Haggrén, H., Yu, X. and H. Kaartinen, 2004. Calibration of laser-derived tree height estimates by means of photogrammetric techniques, *Scandinavian Journal of Forest Research* 19(6):524-528.
5. Næsset, E., Gobakken, T., Holmgren, J., Hyypä, H., Hyypä, J., Maltamo, M., Nilsson, M., Olsson, H., Persson, Å. and U. Söderman, 2004. Laser scanning of forest resources: the Nordic experience, *Scandinavian Journal of Forest Research* 19(6):482-499.
6. Maltamo, M., Eerikäinen, K., Pitkänen, J., Hyypä, J. and M. Vehmas, 2004. Estimation of timber volume and stem density based on scanning laser altimetry and expected tree size distribution functions, *Remote Sensing of Environment*. 90:319-330.
7. Maltamo, M., Mustonen, K., Hyypä, J., Pitkänen, J. and X. Yu, 2004. The accuracy of estimating individual tree variables with airborne laser scanning in boreal nature reserve. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(9):1791-1801.

8. Hyypä, J., Naesset, E., Olsson, H., Granqvist Pahlén, T. and H. Reese (eds), 2003. Proceedings of the ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests, 3-4 September, 2003, Umeå, Sweden, final ed. Swedish University of Agricultural Sciences. ISSN 1401-1204 (ei vertaisarvioitu).
9. Schardt, M., Ziegler, M., Wimmer, A., Wack, R. and J. Hyypä, 2002. Assessment of forest parameters by means of laser scanning, *Proceedings of the ISPRS Commission III Symposium, Photogrammetric Computer Vision*, September 9-13, 2002, Graz, Austria. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIV(3A):302-309.
10. Hyypä, J., Schardt, M., Haggrén, H., Koch, B., Lohr, U., Scherrer, H.U., Paananen, R., Luukkonen, H., Ziegler, M., Hyypä, H., Pyysalo, U., Friedländer, H., Uuttera, J., Wagner, S., Inkinen, M., Wimmer, A., Kukko, A., Ahokas, E. and M. Karjalainen, 2001, HIGH-SCAN: The first European-wide attempt to derive single-tree information from laserscanner data, *The Photogrammetric Journal of Finland*, 17(2):58-68.
11. Hyypä, J., Kelle, O., Lehikoinen, M. and M. Inkinen, 2001. A segmentation-based method to retrieve stem volume estimates from 3-dimensional tree height models produced by laser scanner, *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*, 39:969-975.
12. Hyypä H., and J. Hyypä, 1999. Comparing the accuracy of laser scanner with other optical remote sensing data sources for stand attribute retrieval, *The Photogrammetric Journal of Finland*, 16(2):5-15.
13. Hyypä, J. and M. Inkinen, 1999. Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner, *The Photogrammetric Journal of Finland*, 16(2):27-42.

Metsien kasvu

1. Yu, X., Hyypä, J., Kaartinen, H., Hyypä, H., Maltamo, M., Rönholm, P., Measuring the growth of individual trees using multitemporal airborne laser scanning point clouds. Proceedings of ISPRS Workshop Laser Scanning 2005, 2005, September 12-14, 2005, Enschede, The Netherlands, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI(Part 3/W19) : 204-208, CD-ROM
2. Yu, X., Hyypä, J., Kaartinen, H. and M. Maltamo, 2004. Automatic detection of harvested trees and determination of forest growth using airborne laser scanning. *Remote Sensing of Environment*, 90:451-462.
3. Hyypä, J., Yu, X., Rönholm, P., Kaartinen, H. and H. Hyypä, 2003. Factors affecting laser-derived object-oriented forest height growth estimation, *The Photogrammetric Journal of Finland*. 18(2):16-31.

Tekniikka

1. Kaasalainen, S., Ahokas, E., Hyypä, J. and J. Suomalainen, 2005. Study of surface brightness from backscattered laser intensity: calibration of laser data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2(3):255-259.
2. Rönholm, P., Hyypä, H., Pöntinen, P., Haggrén, H. and J. Hyypä, 2003. A method for interactive orientation of digital images using backprojection of 3D data, *The Photogrammetric Journal of Finland*, 18(2):58-69.
3. Kaasalainen, S., Hyypä, J. and T. Mielonen, 2005. Laboratory calibration of backscattered intensity for laser scanning land targets. Proceedings of ISPRS Workshop Laser Scanning 2005, September 12-14, 2005, Enschede, The Netherlands, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI(Part 3/W19) : 13-17, CD-ROM.

Muut sovellukset

1. Hyypä, H., Rönholm, P., Soininen A., Hyypä, J. Scope for laser scanning to provide road environment information. 2005. *The Photogrammetric Journal of Finland* , Vol. 19, no. 2, pp. 19-33.

2. Kaartinen, H., Hyyppä, J., Gülch, E., Vosselman, G., Hyyppä, H., Matikainen, L., Hofmann, A.D., Mäder, U., Persson, Å., Söderman, U., Elmqvist, M., Ruiz, A., Dragoja, M., Flamanc, D., Maillet, G., Kersten, T., Carl, J., Hau, R., Wild, E., Frederiksen, L., Holmgaard, J., and K. Vester, 2005. Accuracy of 3D city models : EuroSDR comparison. Proceedings of ISPRS Workshop Laser scanning 2005, September 12-14, 2005, Enschede, The Netherlands, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI(Part 3/W19) : 227-232, CD-ROM.
3. Matikainen, L., Hyyppä, J. and H. Hyyppä, 2003. Automatic detection of buildings from laser scanner data for map updating. Workshop '3-D reconstruction from airborne laser-scanner and InSAR data', Dresden, Germany 8-10 October 2003. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIV(3/WG13):218-224. An electronic version available at http://www.isprs.org/commission3/wg3/workshop_laserscanning/.
4. Hyyppä, H. and J. Hyyppä, 2000. Quality of 3-dimensional infrastructure models using airborne laserscanning, *The Photogrammetric Journal of Finland*, 17(1):43-53.

Liite 6. Kooste yrityksille suunnatun kyselyn vastauksista

Yritysten käyttötarpeita valtakunnalliselle korkeusmallille:

- Yrityksen kannalta tärkein käyttö on ortokuvien tuotannossa. Nykyinen korkeusmalli ei ole kattavasti ajantasalla ja sisältää käyttökokemuksemme mukaan liikaa keskivirhemäärittelynsä (1.8m) ylittäviä virheitä. Tyypillinen kohde on esimerkiksi tie kallioleikauksessa.
- Olemme käyttäneet valtakunnallista korkeusmallia melko vähän. Lähinnä sitä on käytetty melumallinnuksessa ja päästöjen leviämismalleissa. Melumallinnukseen nykyinen korkeusmalli on liian epätarkka, mutta päästöjen leviämismallinnukseen se riittää.
- Rakennamme uusia voimajohtoja (110 ja 400 kV) noin 100-200 km vuodessa ja korkeusmalli saattaisi sopia voimajohtoreittien tai reittivaihtoehtojen alustavaan esisuunnitteluun. Toisinsanoen miten maaston muodot huomioon ottaen johto saataisiin istutettua maahan. Numeerinen maastotietokanta olisi tässä varmaan oivallinen lisäapu. 400 kVn voimajohto on vähän niin kuin moottoritie. Sillä pyritään välttämään kovin jyrkkiä kulmia.
- Orto-oikaisu n. 50 cm:n resoluution kaukokartoituskuville. DEM:n hilakoko olisi oltava 5 m tai alle, siis mielellään samaa luokkaa pikselikoon kanssa. Aallokemuunnoksiin perustuva esimerkiksi häviötön MrSID-formaatti mahdollistaa laajojenkin alueiden tallennuksen yhtenäisinä kuvina tälläkin resoluutiolla (jos mallia käytetään myös rasterimuodossa eikä TIN-muodossa).
- Hydrologiset mallinnukset (pintavesien valuminen tai tulva-analyysit, joissa tarkkuusvaatimukset ovat suuria, ympäristövaikutusten arviointi nesteonnettomuuksissa tai yleisemmin saasteiden leviämismalleissa).
- Merkittäviä käyttötarpeita ovat:
 1. yleiskorkeusmalli ortokuvien tuotantoa varten
 2. ympäristön seuranta (tulvat, lumi yms.)
 3. ympäristövaikutusten arviointi (tiehankkeet, tehtaot yms.)
 4. ympäristöhankkeiden simulointi (vesipinnat, tiestö, putkilinjat yms.)
 5. ympäristön suunnittelu (kaavoitus, tiesuunnittelu)
 6. melumallit
 7. tietoliikenneverkkojen mallinnus ja suunnittelu
 8. GEO-viihdepelit
 9. selainsovellukset
 10. pelastuspalvelu
 11. kriisinhallinta (myrkyllisten päästöjen leviäminen)
 12. erilaiset kartografiset tuotteet kuten painetut kartat, erityistuotteet, kuten vinovavarjosteet
 13. paikkatietoanalyysit
 14. Pictometry (rekisteröity tuotemerkki)

Mitä suunnitelmia yrityksillä on korkeusmallien tuottamiseksi ja / tai laserkeilauksen tekemiseksi:

- Käytämme ja tulemme käyttämään korkeustiedon tuottamisessa pääasiassa fotogrammetrista tiedonkeruuta. Automaattinen fotogrammetrinen pintamallimittaus voi tukea valtakunnallisen korkeusaineiston tuottamista/ajantasaistusta esimerkiksi ortokuvatuotannon yhteydessä. Ortokuvatuotannossa laadittavat pintamallit on nykyisin tuotettu lähtien ortokuvan, ei korkeusmallin, tarpeista. Järjestelmiä voidaan kehittää edelleen niin, että pintamalliaineistosta suodatetaan pois rakennuksissa ja puiden latvoissa olevat pintamallipisteet ja samasta datasta tuotetaan korkeusmallia.

- Laserkeilaus on yksi tapa tuottaa korkeustietoa. Yritys ei ole aikeissa lähiaikoina siirtyä laserkeilausaineiston tuottamiseen.
- Valtakunnallinen uudistustyö on hyvin laaja operaatio. Uskon, että myös alan yrityksillä on annettavaa uudistustyöhön eikä uudistusta välttämättä tarvitse tehdä yhden tekniikan/yhden toimittajan avulla.
- Tuotamme maastomalleja infrastruktuurin suunnitteluhankkeita varten. Lisäksi tuotamme tuotemalleja olemassaolevista infrakohteista. Molempia on mahdollista käyttää valtakunnallisen aineiston tuottamiseen ja ylläpitoon.
- Laserkeilaus on organisaatiossamme pääasiallinen menetelmä maastomallien tuottamisessa. Suoritamme keskimäärin neljä keilausoperaatiota vuodessa lähes ympäri valtakuntaa. Hankkeidemme yhteyteen on mahdollista liittää valtakunnallisen aineiston ylläpitotyötä kohtuullisin kustannuksin.
- Me sekä partnerimme toimitamme ohjelmistoja [laserkeilaus]aineiston käsittelyyn, joten vaikutusta voidaan edistää sovellustenkin avulla, jos reunaehdot ja ohjeet ovat olemassa ja asiakkailta tahto (lue rahoitus) toteuttaa uusia ratkaisuja.
- Emme ole vielä tehneet itse tai yhteistyössä muiden tuottajien kanssa laserkeilauksia Suomessa. Päämiehemme omistaa kuitenkin useamman laserkeilaimen, mikä mahdollistaa laitteiston vuokraamisen lisäksi asiantuntija-avun helpomman saatavuuden. Ilmasta tapahtuva erilainen paikkatiedon tuottaminen on yrityksemme avainalueita ja keskusteluja oman laserkeilaimen hankkimisesta on ollut. Investoinnit ovat volyymien kasvaessa hyvinkin todennäköisiä. Korkeusmallien lisäksi volyymien kasvua on odotettavissa varsinkin metsäsektorilta uusin inventointimenetelmien kehittymisen myötä.
- Sovellamme laserkeilausta infrastruktuurin suunnitteluhankkeissa: liikenneväylät, aluekohteet, tulva/valuma-alueet... Metsäsovelluksissa seuraamme tarpeita ja kehitystä. Laserkeilauksessa tulemme käyttämään yhteistyökumppaneita (tavoitteenamme ei ole hankkia omaa skannaavaa lentokäyttöistä instrumenttia) ja itse pyrimme keskittymään ja kehittämään asiantuntemusta aineistojen jalostamiseen loppukäyttäjille. Keskitymme aineiston käsittelyyn ja monialaiseen soveltamiseen. Tietyissä infrakohteissa (kuten teollisuuslaitokset) pyrimme yhdistämään ilmasta tehtävää ja terrestriaalista laserkeilausta.
- Yrityksemme tähtää erittäin vahvasti laserkeilauksella tehtävään korkeusmallituotantoon ja siihen liittyviin tuotteisiin. Erityisen voimakas panostus on tehty metsäalan sovelluksiin siihen liittyvine patentteineen. Tuotekehitystä on tehty vuodesta 1997 lähtien. Tällä hetkellä yhtiölämme on patenteja metsälaseriin liittyen [useissa eri maissa]. Omat suunnitelmamme tulevat selkeästi valtakunnallisen korkeusmallin tuottamista ja ylläpitoa, sillä datan keräys tehdään laserkeilaimilla. Pystymme jatkojalostamaan pistepilviaineiston tuotteiksi, jotka soveltuvat valtakunnalliseksi pintamalliksi sekä metsäsovelluksiin patenttien mukaisiin tuotteisiin. Tällä tavoin saamme pintamallista varsin kohtuuhintaisen tuotteen. Pictometry-tuotanto edellyttää hyvää korkeusmallia kohdealueilta. Pictometrya varten teemme suurimmista kaupungeista korkeusmallit melko suurella todennäköisyydellä 1-2 vuoden kuluessa. [Yrityksemme] aikoo panostaa voimakkaasti laserkeilauksiin ja erityisesti lentokoneesta tehtäviin laaja-alaisiin LiDAR-hankkeisiin. Yhtymän strategian mukaan hankitaan vuosittain tarpeellinen määrä kalustoa ja muuta resurssia. Tätä kapasiteettia voidaan käyttää valtakunnallisen korkeusmallin tuottamiseen.

Muita yritysten kommentteja:

- Loppukäyttäjien kannalta maannouseman aiheuttamat epävarmuudet suunnittelutyössä lievänevät suurin tämänhetkinen puute.
- Uuden korkeusmallin tarkkuus ja erotuskyky voisi olla parempi kuin nykyinen. Tarkkuusluvun muuttamista, esim 2m:stä 1m:iin tärkeämpänä pitäisin aineiston ajantasaisuutta ja homogeenisuutta. Lisäksi erotuskyvyn nosto esimerkiksi 10m:stä 5m:iin poistaisi 'tie kalliioleikkauksessa' virheet jos nämä kohteet vain kartoitetaan.

- Siirryttäessä N60 -korkeusjärjestelmästä uuteen korkeustietojen ajantasaisuus tulee ilman muuta tehdä. Maannouseman lisäksi mallissa on muita hajanaisia epävarmuuksia sekä ajantasaisuusvaihteluja.
- Esitämme, että valtakunnallinen aineisto tehtäisiin tarkempana maanteiden, rautateiden ja muiden väylien varsilta. Tarkemman aineiston tarve on siellä, missä rakennetaan ja missä on liikennettä. Aineiston ylläpito tulisi suunnitella niin, että infrahankkeiden aiheuttamat muutokset päivitetään suunnittelumalleista tai toteutumamalleista.
- Sovellustoimittajan kannalta on tärkeää, että aineistoihin on saatavissa kansainvälisiä standardeja noudattava rajapinta, jonka kautta aineisto on tarpeen ja sopimusten mukaan ladattavissa paikallisesti. WFS lienee tässä tapauksessa sopivin. Kaikki kansalliset standardit/ratkaisut aiheuttavat lisäkustannuksia sovelluskehityksen ja ylläpidon kautta.
- Aineistoja tuotetaan ja prosessoidaan sovellustemme avulla. Valtakunnallisen aineiston ylläpidon kannalta kysymykset ovat varmasti suurilta osin poliittisia ja vähemmän teknisiä. Eli millä ehdoilla tuottajat voivat aineistoa toimittaa ja ylläpitää kun kyse ei ole valtion organisaatiosta. Voisi kuvitella että ylläpito on olemassa olevan aineiston korvaamista tarkemmalla tai ajantasaisemmalla aineistolla, joten ylläpidon säännöt on syytä miettiä huolella. Koska korkeusmallien tuottaminen on kallista toimintaa, niin varmaa on että tuottajat haluavat aineistosta käyvän korvauksen. Voikin olla että korkeusmalli-järjestelmässä tulisi olla myös valtakunnallista mallia tarkempien aineistojen indeksi. Näin valtakunnallinen järjestelmä voisi toimia paikallisten aineistojen "markkinapaikkana", joka ainakin kansantaloudellisessa mielessä olisi kannattavaa verrattuna päällekkäiseen toimintaan.
- Missään tapauksessa en usko, että maastomallin korkeustarkkuus milloinkaan tulisi riittämään johdon lopulliseen suunnitteluun. Tähän tarkoitukseen hankimme aina maastoaineiston mittaamalla.
- Korkeusmalli voisi olla julkisesti tarjolla erilaisilla tarkkuuksilla ja sitä kautta eri kokoisina tiedostoina. Suoraa käyttöä toiminnassamme on hyvinkin vähän, mutta karkeaa mallia voisi hyödyntää mm. kuvaussuunnittelussa.
- Käyttötarpeita on varmasti useita, seudullisia ja valtakunnallisia. Oleellista aineistojen hyödyntämiselle on niiden helppo saatavuus ja järkevä kustannus. Korkeusmallin uudistamisessa oleellista lienee myös sen esittely julkisuuteen korostaen sen tarpeellisuutta ja mm. maannousun aiheuttamia muutoksia. Myöskin erot vanhoihin järjestelmiin olisi hyvä julkais-ta.
- Oleellista uudistamisessa ja käyttötarpeiden huomioimisessa on tietysti uusien tuotantomenetelmien todellisen tarkkuuden ja luotettavuuden arviointi sekä mahdollisen raakadatan tallennus ja hyväksikäyttö muissa mahdollisissa sovellutuksissa (esimerkiksi Laserkeilaus data).
- Tämän hetken asiakaspohjaa vasten joudumme korkeusmallien kanssa tekemisiin ensisijaisesti kunnallisissa hankkeissa. Kaavan pohjakarttojen tuottamisessa luodaan normaalisti uutta korkeustietoa niin lähtöpisteille kuin itse kartta-aineistollekin. Myös ortokuvatuo- tannossa tarvitaan korkeusmallia, tosin tähän riittää yleensä valtakunnallinen korkeusmalli. Tosin uskomme tulevaisuudessa kunnallisella puolella tarvittavan entistä tarkempaa korkeustietoa, jota tuotetaan esimerkiksi laserkeilaukseen perustuen tai olemassa olevia aineistoja ste-reomittauksin korjaten ja tarkentaen.
- Kansantaloudellisesti toivottavaa tietysti on, että kertaalleen laserkeilattu aluetta ei keilattaisi heti uudestaan. Samoin olisi järkevää pyrkiä suurempiin kokonaisuuksiin yhdistämällä eri tarpeita. Olemme erittäin kiinnostuneita tarjoamaan palveluitamme ja osaamistamme tällä alueella. Seuraamme hankkeen kehittymistä mielenkiinnolla ja olemme käytettävissä, mikäli työssä tarvitaan konsulttipuolelta asiantuntija-apua tai tuotannollista testausapua sekä tuotannollista apua.

- Nykyinen valtakunnallinen korkeusmalli ei toimi rakennetuilla alueilla; siellä ei ole käyriä, tai ihmisen rakentamia maan pinnan muotoja ei ole kuvattu ollenkaan. Uuden maanpinnan korkeusmallin tulisi kuvata myös rakennettua ympäristöä riittävällä tarkkuudella. Hajapisteistön lisäksi taiteviivojen luovuttaminen käyttäjälle parantaisi mallin tarkkuutta ja käytettävyyttä. Mallin päivitettävyyteen tulee kiinnittää huomiota.
- Haja-asutusalueilla noin puolen metrin korkeustarkkuuden mallilla on paljon infrastruktuuri-sovelluksia (mm. liikenneväylät, putkilinjat, aluerakennuskohteiden yleissuunnittelu).
- Seuraamme mahdollisuuksia tuottaa käyttökelpoisia korkeusmalleja TerraSAR-X:stä (www.terrasar.de) ja muista tutkasatelliiteista interferometritekniikalla tai stereotekniikalla. Samoin seuraamme mahdollisuuksia tuottaa malleja optisen alueen stereosatelliittikuvista; ne otetaan jatkossa useimmin radan suuntaisena, jolloin kuvaparien saanti on todennäköisempää kuin eri radoilta kuvattaessa. Seuraamme myös erilaisten lennokkikonseptien kuten Pegasus HALE UAV (www.pegasus4europe.com) kehittymistä ja käytettävyyttä erilaisiin sovelluksiin.
- Valtakunnallisen korkeusmallin olennaisia asioita ovat:
 - o korkeusmallin rakenne
 - o geometrinen tarkkuus
 - o tasalaatuisuus
 - o saatavuus
- Valtakunnalliset korkeusmallit esitetään yleensä maanpintaa kuvaavina hiloina, joiden tiheys vaihtelee maittain 5 metristä 50 metriin. Mielestämme valtakunnallisen hyvän tason saavuttaminen edellyttää 5 metrin hilatiheyttä ja noin 0,5 metrin korkeuskeskivirhettä selvästi erotettavilla pinnoilla. Toki voidaan ajatella erilaista tarkkuustasoa tiheimmin asutulla alueella kuin erittäin harvaan asutulla alueella.
- Erittäin tärkeänä näemme, että korkeusmalli on tasalaatuinen ja ajantasaisuudeltaan riittävä. Investointi valuu hukkaan, jos saatavuutta ei ole järjestetty tehokkaasti:
 - o kertakäyttölisenssit
 - o tuotelisenssit
 - o koko Suomi
 - o aluekohtainen irrotus
 - o nettimyynti
 - o tehokas myyntiverkosto, myös MML:n ulkopuolisia organisaatiota, mieluiten yhtiöitä.
- [Yrityksemme] mielestä korkeusmallin uudistaminen olisi hyvä toteuttaa projektina, johon myös yritykset voisivat osallistua kuten myös mallin myyntiin ja jatkojalostukseen. Lisäksi voitaisiin keskustella ansaintalogiikasta ja erilaisista rahoitusmalleista.

MMM:n vuonna 2006 julkaisemat työryhmämuistiot

- 2006:1 Peltobiomassa, liikenteen biopolttonesteet ja biokaasu-jaosto.
II väliraportti
ISBN 952-453-253-0
- 2006:2 Behörigheten mellan riket och landskapet Åland gällande jordbrukets olika
stödformer
ISBN 952-453-254-9
- 2006:3 Valtion varoin tuettavan salaojituksen ehdot
Väliraportti
ISBN 952-453-255-7
- 2006:4 Porotalousyrittäjien tilanteen edistäminen
ISBN 952-453-256-5
- 2006:5 Tilaaja-tuottajamalli metsäkeskuksissa
ISBN 952-453-260-3
- 2006:6 Maaseutuviraston tehtävät
ISBN 952-453-261-1
- 2006:7 Taloushallintotyöryhmän loppuraportti
ISBN 952-453-262-X
- 2006:8 Selvitys energiapuun mittauksen järjestämisestä ja kehittämisestä.
ISBN 952-453-264-6
- 2006:9 Metsäkeskusten merkittävää julkista valtaa sisältävät tehtävät
ISBN 952-453-265-4
- 2006:10 Perunatärkkelyksen tuotannon strategia 2006-2013
ISBN 952-453-266-2
- 2006:11 Metsätalouden alueellisten tavoiteohjelmien tukityöryhmä
ISBN 952-453-267-0
- 2006:12 Rehulakityöryhmän muistio
ISBN 952-453-268-9
- 2006:13 Vilja-alan yhteistyöryhmän toiminnan arviointi
ISBN 952-453-269-7

ISBN 952-453-271-9

ISSN 0781-6723